Subject: استاد خدایگان

Year: Month: Day:

(طراحی اجزا!)

طراحی: حل یک مسئله برای رفع یک نیاز

یک نیاز ← اهداف

قیود و محدودیت ها

بیش از یک جواب. ← طراحی بهینه را انتخاب می

یک جواب

جواب ندارد ← باید قیود را کاهش داد

انواع طراحی های مهندسی:

① طراحی اصلی: (orginal disign)

طراحی ای که هیچ سابقه ای از آن پیش از طراح وجود نداشته است. (اختراع)

مثال: طراحی ترموستوف برای اولین بار

② طراحی مجدد: (Redesign)

مثل سپر خودرو که بعد از طراحی اولیه از جنس فلز، مجددا طراحی با جنس کامپوزیت گردد.

طراحی ای که سابقه ای از آن از قبل وجود داشته است، اما با اصلاحات مجدد، طراحی به محصول جدیدی با ویژگی های جدید منجر شده است.

Subject:

Year: Month: Day:

③ طراحی تطبیقی: (Adaptive design)

برخورداری از یک قابلیت موجود در یک طراحی مثل استفاده از ماشین کنترل عددی در ساخت

① ماشین ابزار CNC ② ربات جوشکاری ③ ماشین اندازه‌گیری (CMM)

④ طراحی برای انتخاب (Design for selection)

هدف از طراحی ساخت قطعه نیست بلکه انتخاب قطعه مورد نظر بر اساس نتایج طراحی است.

این نوع طراحی برای مجموعه‌های استاندارد و آماده انجام می‌شود. مثال) طراحی برای انتخاب یاتاقان‌های غلتشی، زنجیر، تسمه و ....

⑤ طراحی صنعتی: (Industrial design) (* در بر گیرنده کار ساخت و تولید)

در طراحی صنعتی به جنبه‌های زیبایی‌شناختی در کنار جنبه‌های فنی توجه ویژه‌ای می‌شود.

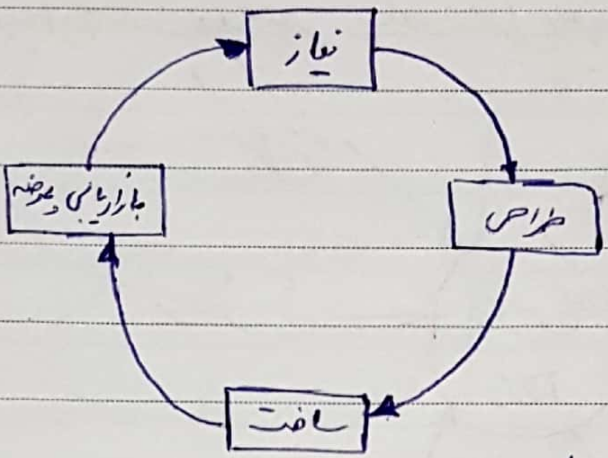
در محصولات لوکس این طراحی چشمگیرتر و مهم‌تر است.

می‌توان یخچالی با ظاهر نامناسب و ابعاد غیر متداول داشت، ولی بازده سیکل تبرید آن بسیار بالا باشد. اما به دلیل ضعف در جلب مشتری ندارد

(این نوع طراحی نه مکانیک است نه هنر بلکه ترکیبی از این دو می‌باشد)

درستان

چرخه عمر محصول:



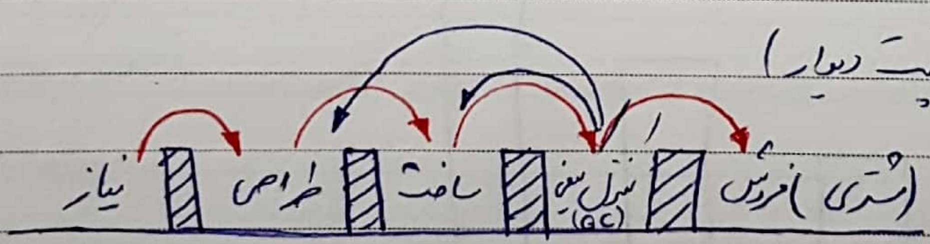
* چون بازاریاب که نیاز روز و نیاز جدید مشتری به دست می‌آورند.

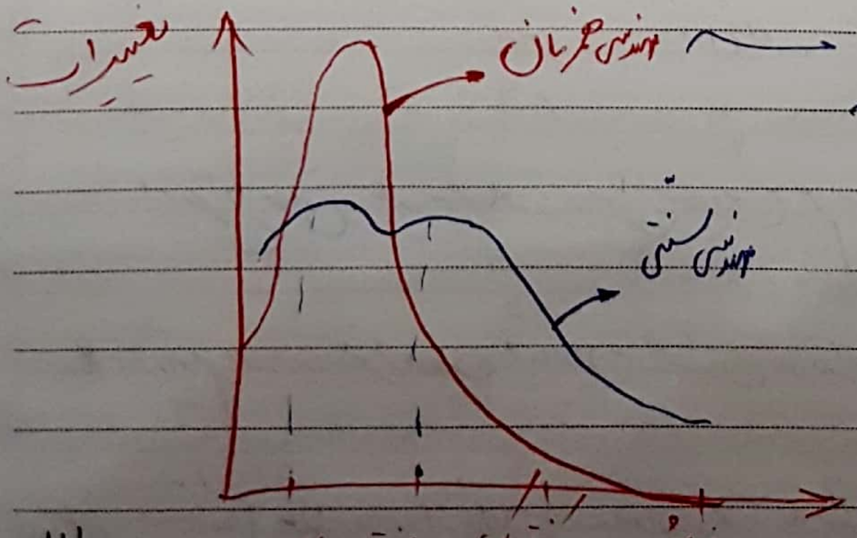
* مهم‌ترین قسمت این چرخه (طراحی) است زیرا محصول روی کاغذ است و شکل می‌دهد و به وجود می‌آورد.

* طراحی و ساخت ۲ قسمت لاینفک از هم هستند و با هم مرتبط و نیازمند هستند.

استراتژی‌های طراحی و تولید محصول

۱) استراتژی سنتی (پشت دیوار)

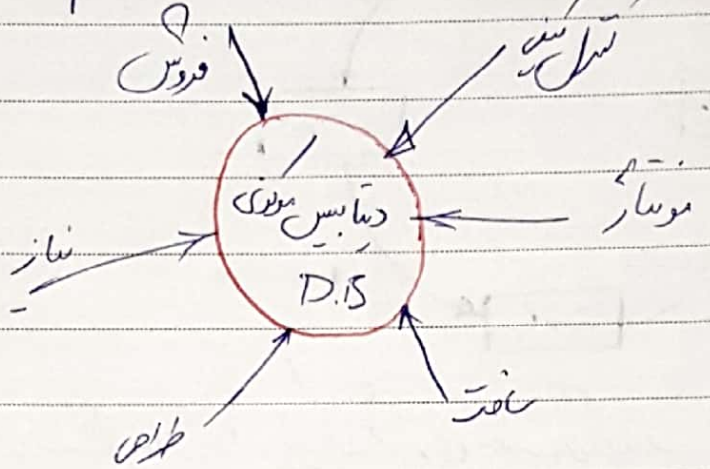




چون همزمانه دیگه همه کارها و تغییرات تو همون مرحله طراحی رفع و رجوع میشه

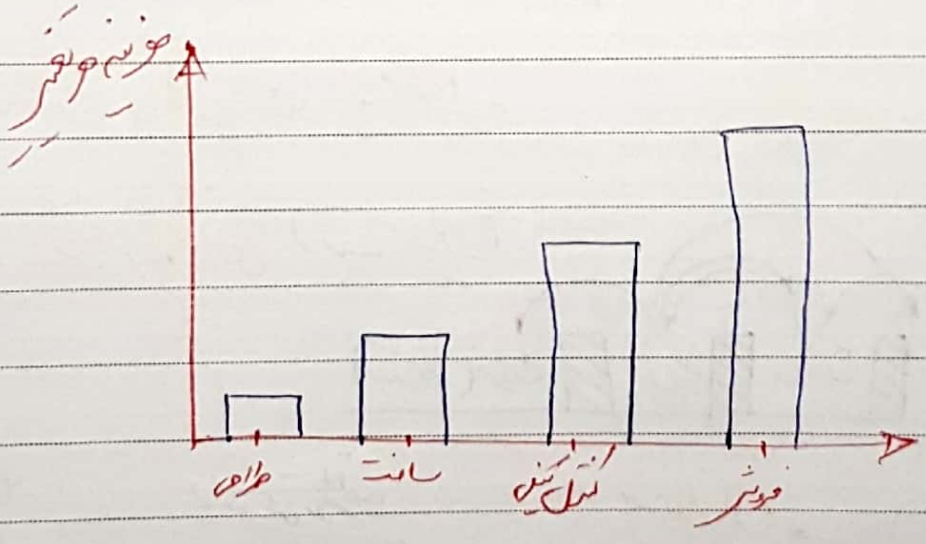
درسمان

۲- مهندسی همزمان (CE): دیگه منتظر ساخت و کنترل نمی‌شن ... تصمیم گرفتند همه با هم انجام بشن.



مثلاً در مرحله طراحی می‌خوام ضخامت ورق ... ۱۱٫۲۴ باشه که ساخت میاد میگه دستگاهش نیست

تا ۲ رقم اعشار بیشتر نمی‌تونه باشه یا کنترل کیفیت میگه این رقم استاندارد نبوده و نیاز پایین تره ...



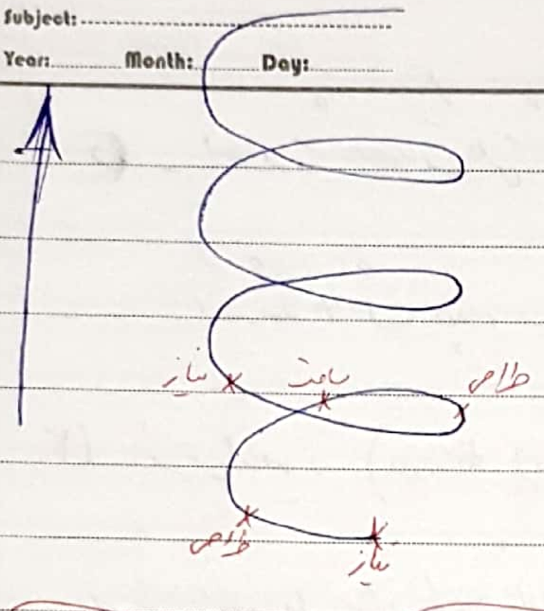
یه طراح موفق باید به ساخت و کنترل و فروش هم مسلط باشه.

نکته: در قدیم همه دنیا مجزا بودن آیتم‌ها الان همش تو طراحی جمع میشه. یه طراح باید بدونه

استحکام کالا نباید از فلان استاندارد کمتر باشه یا اینکه چیزی که دارم طراحی می‌کنم باید با موتورساز موافق باشم. یه شرایطیش که مجبوری طراحی کنم که استاندارد و که ساخت رعایت کنم.

Subject: ....

Year: .... Month: .... Day: ....



محصول به چرخه ی مدام

فیدبک مشتری رو میگیره و حالاش

رو ارتقا میده

مراحل طراحی:

۱) طراحی مفهومی (Conceptual Design)

الف ـ ایده پردازی با ـ جمع آوری دیتا (مثلا فکر میکنی به چجوری سرکاری کنی که مثلا خودکارت گم نشه؟ پیدا کنی)

ب ـ مطالعه امکان سنجی طرح (آیا امکان ساختش هست؟ هزینش چقدر میره؟!)

* بعد از این ۲ مرحله باید ایده‌تون (ایده درسته) رو انتخاب کنید. (تصمیم گیری)

ج ـ تبدیل نیازهای مشتری به الزامات طراحی

(مثلا یه وسیله میخوام که با سرعت بالا فلان کار رو انجام بدم بعد تو باید بیای اون خواسته و نیاز رو به زبون طراحی و فنی ترجمه کنی)

* د ـ مدلسازی یا تجزیه سیستم اصلی به زیر سیستم که (این همون خط‌ها رو به صورت معنوی پیدا کنی چه چیزایی نیازه؟ مثلا یه قسمتش به ارتباط طراحی سر سنسور یا فلان ... چیزی میخواد)

درستان

Subject: ....

Year: ...... Month: ...... Day: ......

۱- ابعاد و مشخصات کلی مشخص: (باید ابعاد و طول المان و اندازه طرح رو تو اینجا بدونید

اینکه مثلا جنسش چیه و ...)

۲) طراحی اولیه: (Pre liminary disign)

در طراحی اولیه ما سایز طرح رو داریم: (مدل اولیه)

- سایزینگ طرح

- مدل اولیه ← تحلیل

↑ فرضیات اولیه

مدل اولیه نتایج نامی رو به شما میده (مشخصات هندسی نامی)

↓

یعنی مثلا شما [illegible] مدرسی به پرشکت به طول ۴۰

ولی در ساخت به شما میگن که بین ۱٫۰± خطا داریم

ممکنه دقیق ۴۰ نشه

و شما باید طرحتون رو با اون خطا تطبیق بدین

که مشکلی به وجود نیاد.

- خروجی از طرح اولیه

۳) طراحی جزئی: (detailing design)

در اینجا طرحتون دقیق تر بررسی میشه - یعنی میرید تو نرم افزار و دقیق شبیه سازیش میکنید

- مدل دقیق تر ← مدل مهندسی

- ابعاد ← دقیق تر

- مشخصات ← " "

- بهینه سازی ← مثلا با تکرار خطا در شبیه سازی و مدلسازی اولیه مشخص

(یعنی همینی که ساختی رو آیا میشه با قطر کمتر ساخت که هزینش کمتر شه؟!
آیا میشه این حالت یکجای اون رو کوتاه تر مدل کرد که کمتر با سیمکاری شه؟!)

نتیجه (خروجی): نقشه های مهندسی (اجرائی) ← که میدیم به سازنده سازه

مرحله دوم: مهمترین اصل طراحی ایده داشتن است که لازمه آن خلاقیت میباشد.

ایده پردازی:

خلق ایده

منابع

1- استفاده از ایده های موجود در حل مسائل مشابه

2- استفاده از منابع اطلاعاتی: کتاب ها، مقالات، استانداردها، اینترنت

3- مشورت با افراد صاحب نظر و کارشناس

درسنامه

Subject: ....

Year: .... Month: .... Day: ....

اصول ایده پردازی :

۱. هیچ ایده ای را نسنجیده رد نکنیم.

۲. نگذاریم یک ایده ذهن را تسخیر کند.

۳. تغییر قالب فکری

طوفان ذهن :

اصول: ۱) هیچ ایده ای نباید مورد تمسخر قرار گیرد. در مرحله اجرا، ایده، نباید مورد قضاوت قرار گیرد.

۲) کمیت (تعداد ایده ها) بر کیفیت ایده ارجحیت دارد (هرچی تو مخته بریز بیرون)

۳) ترکیبی از ایده ها را به عنوان ایده جدید مطرح کنیم.

روش کار :

۱. یک مدیر گفتگو را مدیریت می کند.

۲. تعداد اشخاص باید بین ۶ تا ۱۲ نفر

۳. بیش از ۲ ساعت نباید باشد. ([illegible])

۴. در پایان ایده ها بررسی و قضاوت می شوند.

ایده ها ی تشخیص میوه خوب :

۱) سنسور رنگ ← تشخیص بر اساس رنگ

۲) استفاده از یک حرکت مکانیکی - ارتعاشی ← رسیده ها ناپایدارترند

۳) استخدام افراد مجرب در تشخیص میوه های رسیده

٤) استفاده از خاصیت انعطاف پذیری بیشتر رسیده ها

۵) تست مخرب

٦) بر اساس چگالی

۷) استفاده از [illegible]

۸) زبان بدن و تجربه زبان رسیدن میوه ها

جدول تصمیم گیری : بر اساس
① ایده ها در راه حل ها و یا روش ها
② معیار ها

بر اساس شرایط تعیین میشه

Subject: ....

Year: .... Month: .... Day: ....

ایده‌ها یا رویکردها

معیار	وزن	ایده ۱	ایده ۲	...	ایده n
معیار ۱	W_1				
معیار ۲	W_2				
⋮	⋮				
معیار n	W_n				
	1				

مثال:

معیار	W	بتن آرمه	نیمه اسکلت	تمام اسکلت
هزینه	۰٫۳	۵	۹	۱
دوام داخلی	۰٫۴	۹	۱	۵
سرعت ساخت	۰٫۱	۵	۹	۹
فضای داخلی	۰٫۲	۵	۱	۹
	۱	۶٫۶	۴٫۲	۶٫۶

امتیازدهی: بیشترین ۱ – متوسط ۵ – کمترین ۹

* نیمه اسکلت از همه ارزون تره

* تمام " " گرون تره

بتن آرمه: ۰٫۳×۵ + ۰٫۴×۹ + ۰٫۱×۵ + ۰٫۲×۵ = ۶٫۶

نیمه اسکلت: ۰٫۳×۹ + ۰٫۴×۱ + ۰٫۱×۹ + ۰٫۲×۱ = ۴٫۲

تمام " : ۰٫۳×۱ + ۰٫۴×۵ + ۰٫۱×۹ + ۰٫۲×۹ = ۶٫۶

از نظر هزینه ← نیمه اسکلت بهترینه

" " دوام ← بتن آرمه "

" " سرعت ساخت ← تمام اسکلت و نیمه اسکلت سریع‌ترین

" " فضای داخلی ← " " بهترینه

۴٫۲ از همه کمتره ← نیمه اسکلت حذف میشه

از ایده‌ها کم میشه ۱۰

درستش

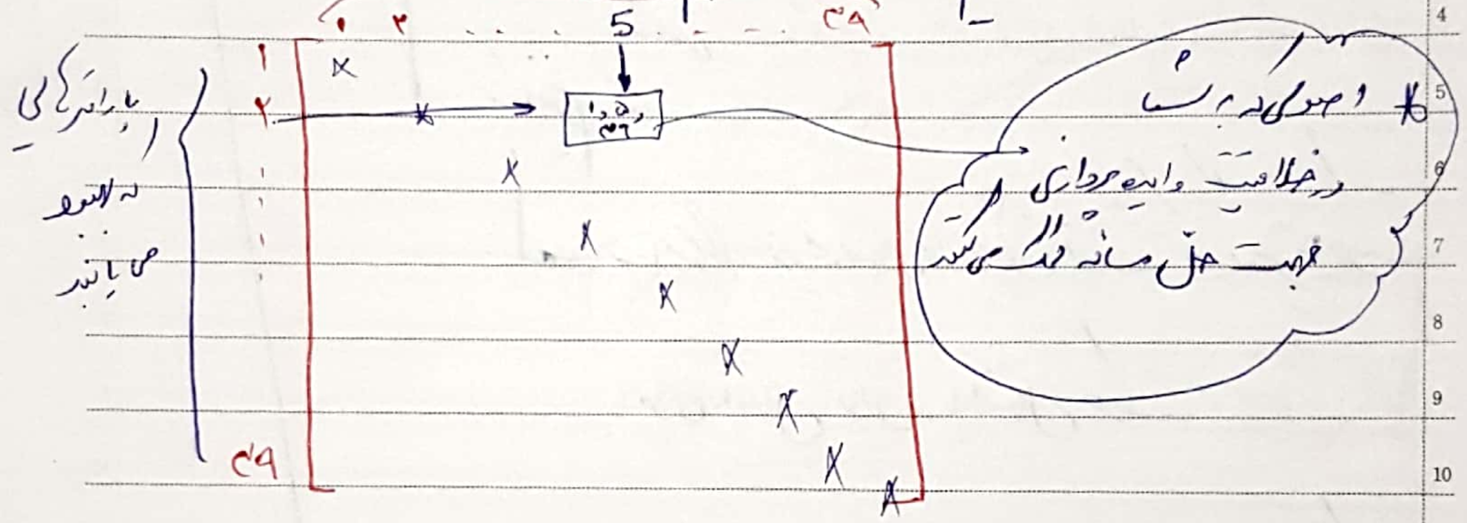
Subject: ....
Year: ...... Month: ...... Day: ......

نظریه تریز TRIZ

ماتریس تضادها : (CM)

پارامترهای کلی که وضعیتشان بدتر می‌شود

۳۹ پارامتر مهندسی داریم. مانند: وزن، حجم و ...



* تعریفشون دقیقشون در عادت ببینید که غلط نباشه مثلاً باید تکمیلشون خوب باشه.

مثلاً ارتفاع اتاق چقدره - سرعت چند بوده - قیمت آلومینیوم الان چنده

فرق بین ۱۲٫۳ و ۱۲٫۳۰ !!؟

در ۱۲٫۳۰ شما صفر ۳۰ بودن شک داری مثلاً شک داری که ۱۲٫۳۱ است یا ۱۲٫۲۹

در ۱۲٫۳ 〃 〃 〃 〃 〃 〃 〃 〃 〃 ۱۲٫۳ 〃 یا ۱۲٫۴

Subject:
Year: Month: Day:

* ماشین :

سازه : زیرمجموعه ای از ماشین است که وظیفه تحمل بارهای اعمالی و رساندن را دارد (تحمل بارها ، استاتیکی بودن و ساکن بودن)

شاسی ، بوسته گیربکس ، ....

مکانیزم :

زیرمجموعه ای از ماشین است که در بر با حرکت

برای انتقال توان یا انتقال حرکت (سینماتیک)

مجموعه ای است برای تبدیل و انتقال توان (تبدیل از سینماتیکی به سینماتیکی دیگر)

اجزای ماشین :

① واحد تولید توان : موتور احتراق داخلی ، توربین ها ، ژنراتورها ، موتورهای الکتریکی

② انتقال توان : شفت ، میل لنگ ، زنجیر ، چرخدنده ها ، محورها ، تسمه ها (گیربکس)

③ اتصالات : پیچ ، جوش ، پرچ ، ....

④ واحد ذخیره انرژی : فنر ، چرخ طیار ،

⑤ کلید (قطع و وصل کردن مسیر انتقال قدرت) : کلاچ ، ترمز

⑥ یاتاقان ها : یاتاقان های غلطشی و لغزشی

درسنامه

۱۲

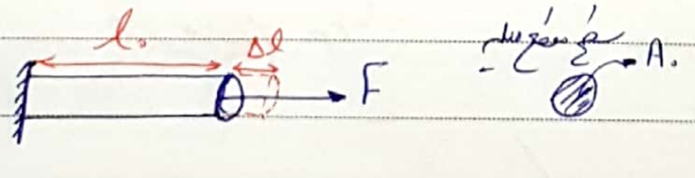
Subject: ....
Year: ...... Month: ...... Day: ......

خواص مکانیکی مواد :

انواع مواد:
- ایزوتروپیک (همسانگرد) : خواص مکانیکی مواد در جهات مختلف یکسان است
- غیرهمسانگرد : " " " " " " " نیست

{ همسانگرد : آلیاژهای فولادی ، آلومینیوم ، تیتانیوم
{ غیر " : چوب ، کامپوزیت‌ها ، فایبرگلاس

مواد:
- نرم : (ductile)
- ترد :



مواد نرم:

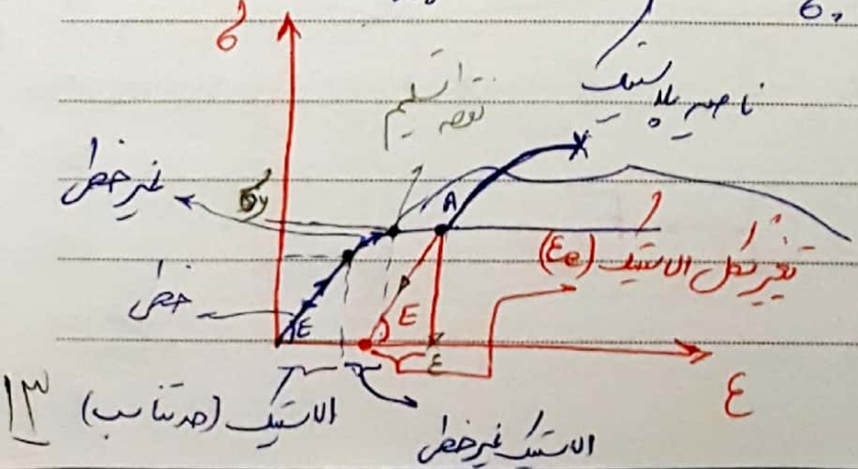
σ = تنش مهندسی = $\frac{F}{A_0}$

ε = کرنش مهندسی = $\frac{\Delta l}{l_0}$

* S_y : استحکام تسلیم

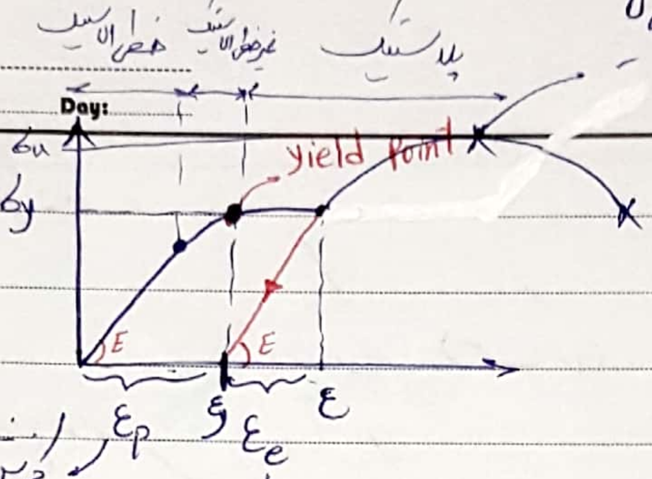
* در محدوده الاستیک خطی : $\sigma = E\varepsilon$

* اگر از نقطه A باربرداری کنیم بر موازات E برمی‌گرده ولی دیگه صفر نمیشه و یه تغییر شکلی داره



درسنامه

شکل واضح تر :



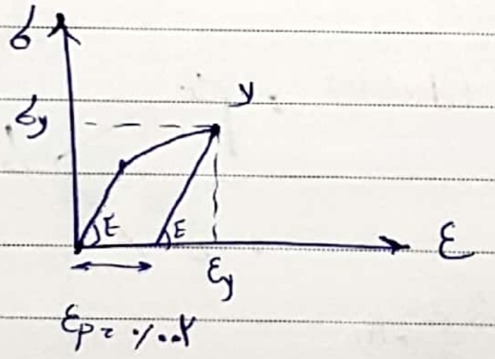
σ_u ← تنش نهایی

ε_p ← کرنش پلاستیک است

ε_e ← کرنش الاستیک

روش آفست (offset method):

نقطه تسلیم طبق این روش نقطه‌ای است که پس از باربرداری، کرنش پلاستیک برابر ۰٫۲ درصد باشد.



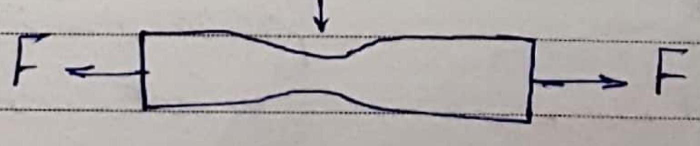
$(\varepsilon_p = \%0.2)$

برای مواد دارای ε_p

استحکام تسلیم: میزان تنشی است که ماده می‌تواند تحمل کند تا در آستانه تسلیم قرار بگیرد.

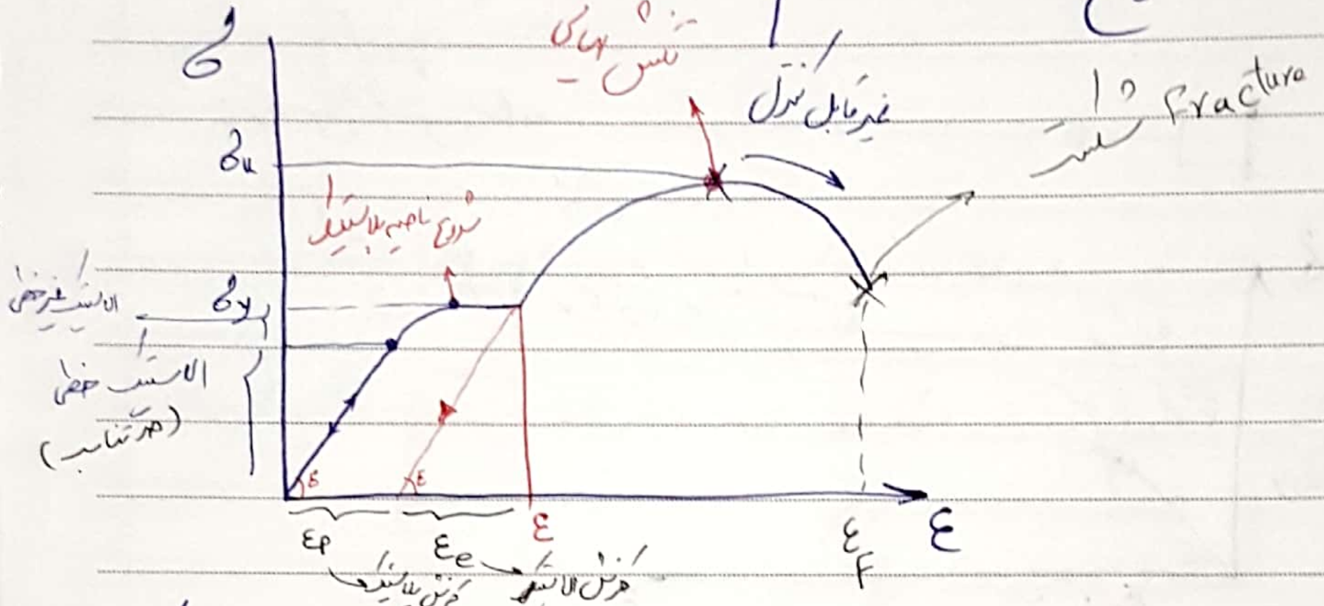
S_y ← استحکام تسلیم

گلویی شدن : necking



Subject: ....
Year: ...... Month: ...... Day: ......

نمودار صحیح تنش-کرنش مواد نرم:



استحکام نهایی: (S_u) میزان تنشی است که ماده برای شکست نهایی تحمل می‌کند.

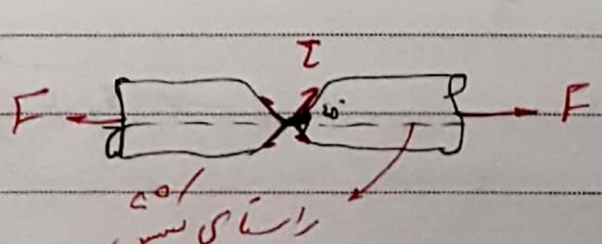
* (در طراحی اگر بخواهیم بیشترین استفاده را از قطعه داشته باشیم S_u را معیار قرار می‌دهیم)

* معیار مهمی برای محاسبه: کرنش نهایی (ازدیاد طول) $\varepsilon_F = \frac{l_F - l_0}{l_0}$

* برای مواد نرم: $\varepsilon_F > \%5$ و اگر $\varepsilon_F < \%5$ ماده ترد است.

* ماده نرم در برابر نیروی برشی کمتر مقاومت و در برابر نیروی محوری بیشتر مقاومت می‌کند.

و ضعیف شکست هم به علت تنش برشی رخ می‌دهد با اینکه نیرو محوری اعمال شده است.

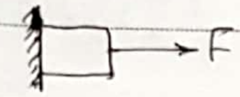


* در برابر برش آسیب می‌بیند.

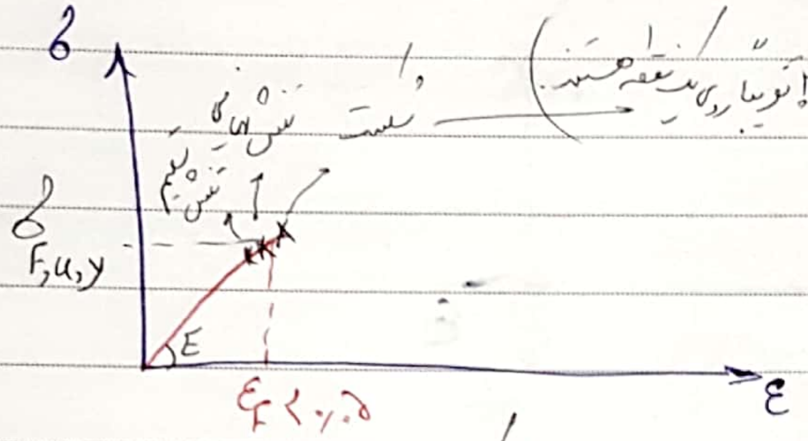
Subject:
Year: Month: Day:

ماده ترد:

آزمایش کشش ساده:



* (هر ۳ تو یک بار یک نقطه هستند) ← شکست

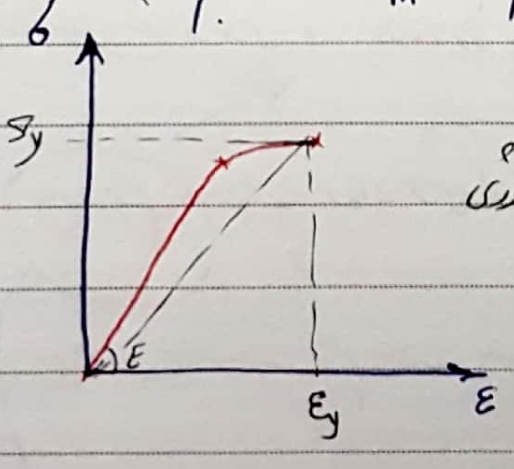


* در مواد ترد، تمایزی بین نقاط تسلیم، تنش نهایی و شکست وجود ندارد، ماده به محض تسلیم می‌شکند

* مواد ترد در برابر بارگذاری نرمال (محوری) آسیب‌پذیر است.

* قابلیت ارتجاعی: میزان انرژی‌ای که یه ماده می‌تونه جذب کنه و دچار تسلیم نشود.

انرژی را به صورت چگالی انرژی بیان می‌کنیم. J/m^3 (ژول/حجم)

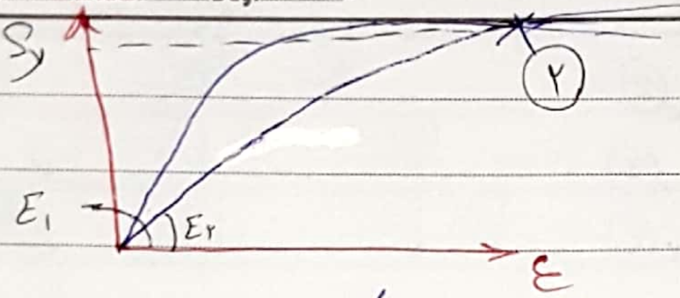


چگالی انرژی $= u_R = \int_0^{\varepsilon_y} \sigma \, d\varepsilon$

$u_R = \frac{1}{2} S_y \varepsilon_y = \frac{1}{2} \frac{S_y^2}{E}$

معروف ($S_y = E \varepsilon_y$)

Subject: 6 (۱)
Year: Month: Day:

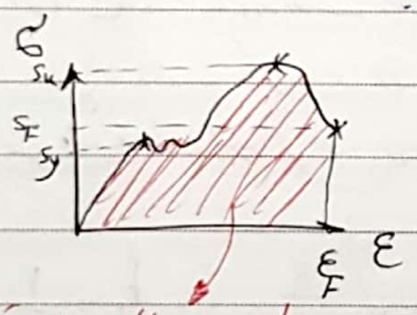


مثلا در این فرم، ماده ای ناپایدارتر است که شیب کمتری دارد ← ماده (۲)

چقرمگی : میزان انرژی (چگالی انرژی) ای که ماده می‌تواند تا شکست نهایی تحمل کند

← (معیاری برای تغییر شکل‌دادگی ماده است)

نتیجه ← مواد نرم ← چقرمگی بالا دارند.
« ترد ← « پایین «.



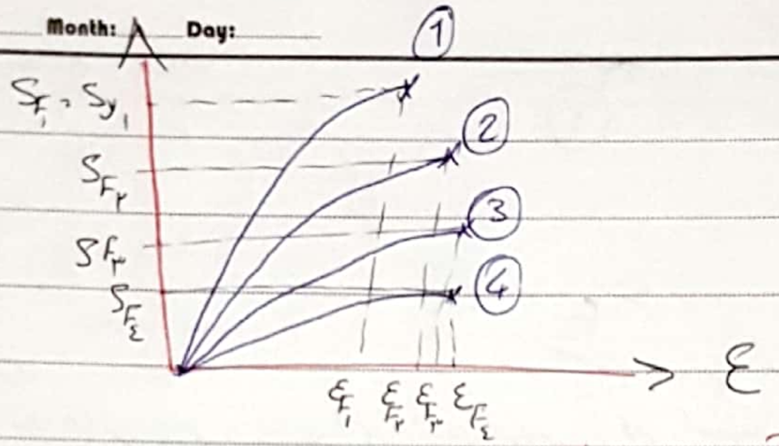
u = مساحت زیر نمودار σ-ε = چقرمگی (J/m^3) → $u = \int_0^{\varepsilon_F} \sigma \, d\varepsilon$

روش تقریبی تحلیل ← $u \approx S_F \times \varepsilon_F$ ≈ تنش نهایی × کرنش نهایی

← تعیین اندازه‌گیری در حین نقطه شکسته → $S_F \approx \frac{S_u + S_y}{2}$

در مسائلی که مواد استحکام بالای دارند که چقرمگی بالا داشته باشند ← هم S_F بالا باشد
هم ε_F « « ، هردو باهم بالا باشند

Subject: 6
Year: Month: ۸ Day:



	چقرمگی	استحکام	چکش خواری	
۱	پایین ↓	بالا ↑	پایین ↓	شیشه، ترد مثل چدن
۲	متوسط	متوسط رو به بالا	متوسط رو به پایین	شبیه فولاد پرکربن
۳	بالا	متوسط	متوسط	شبیه فولاد آلیاژی
۴	پایین	پایین	بالا	مثل کم کربن
۵				

بار ضربه‌ای: باری که مدت زمان اعمال آن از $\frac{1}{3}$ دوره زمانی مربوط به فرکانس طبیعی اول کمتر باشد، بار ضربه‌ای تلقی می‌شود.

k, m

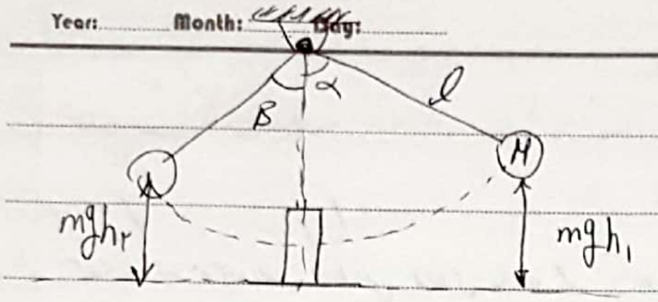
$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad , \quad f_1 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}$$

دوره زمانی $T_1 = \frac{1}{f_1}$

مدت زمان اعمال بار $t < \frac{1}{3}T_1$

که اگر این نامساوی برقرار باشد به آن بار ضربه‌ای می‌گویند.

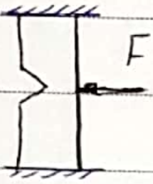
تست ضربه:



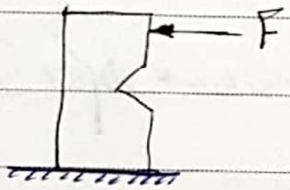
$(\alpha > \beta)$

چقرمگی ضربه: $u = \frac{\Delta E}{V} = \frac{mg\Delta h}{V} = \frac{mgl(\cos\beta - \cos\alpha)}{V}$

تست شارپی: (Charpy)



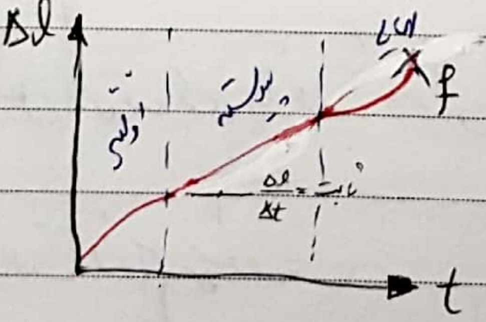
تست آیزود (Izod)



خزش: (Creep) تغییر شکل پیوسته یک قطعه در مدت زمان زیاد تحت دماهای نسبتاً بالا

(زمان‌های کم و دماهای بالا)

* مثلاً یک پیچ رو به یک پلی بستیم بعد ۲ سال می‌بینیم شل شده



مواد سرامیکی: $T \geq 0.4\,T_m$

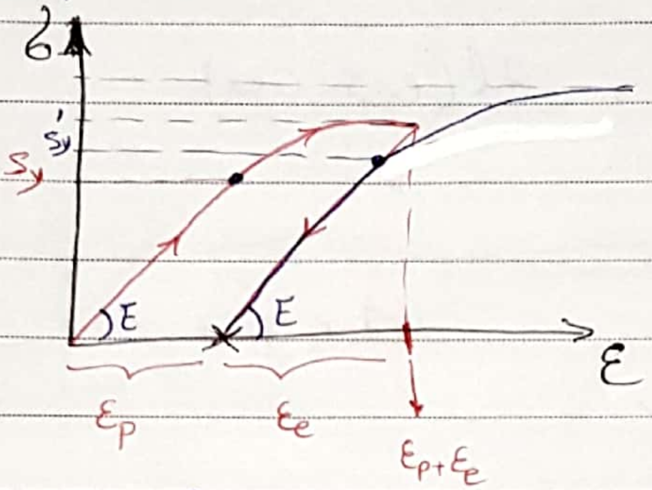
مواد فلزی $T \geq 0.3\,T_m$

در این شرایط برقرار بشه باید اثرات خزش رو در نظر بگیریم.

Subject: ....
Year: ...... Month: ...... Day: ......

عملیات کار سرد:

عملیاتی که به صورت مکانیکی بر روی ماده جهت تغییر شکل فیزیکی در دمای اتاق انجام می‌شود.



$S_y < S'_y$

* وقتی دما رو ببری بالا، ماده ضعیف میشه و پیوندهای مولکولی اثر شکل پیش دستش رو جهت گرفته روش
عملیات انجام داد. چه دوباره سردش می‌کنیم تا مقاومتش بره بالا

طراح ← استحکام بالا می‌خواهیم ← ضریب اطمینان بالا می‌رود

دستیابی به محصول

سازنده ← به پایین می‌خواهیم ← ساخت‌پذیری بالا می‌رود.

عملیات کار گرم:

فرآیندهای شکل دهی در دماهای بالا جهت کاهش موقت استحکام جهت بهبود ساخت پذیری و کاهش
هزینه‌های ساخت انجام می‌شود.

عیب ← حین عملیات حرارتی خواص اصلی ماده دچار افت می‌شود.

روش جبران > عملیات کار سرد / تنش زدایی (حذف تنش‌های پسماند) ← عملیات حرارتی

درسنامه

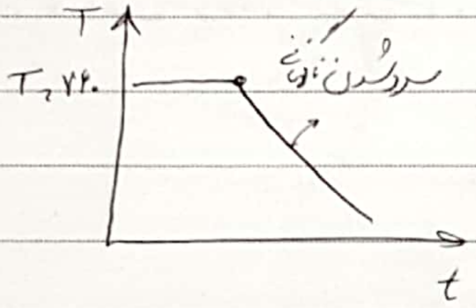
Subject: .... Year: .... Month: .... Day: ....

* اگر مقدار کربن زیر ۲ درصد باشد فولاد و اگر بیشتر از ۲ درصد باشد چدن است.

* عملیات حرارتی برای چه مواد آهنی انجام می‌شود: فولاد، چدن
(آهن + کربن)

(زمان — دما)

کوئنچ • به تجربه: فولاد رو خیلی داغ می‌کنن بعد سریع میارن بیرون و داخل آب، سرد میکنن (سریع سرد کردن)

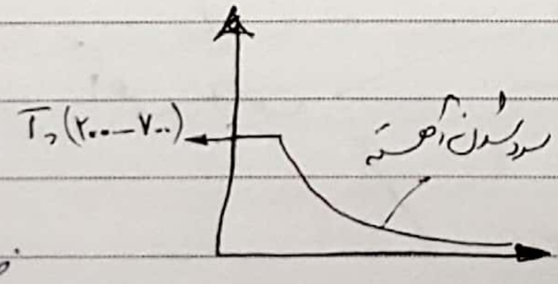


مارتنزیت: (یه چیز خیلی سخت ولی شکننده)

ویژگی مثبت: استحکام فوق‌العاده بالا

(عیب) ایراد: ساختاری شکننده و سطحی پر از ترک

تمپر کردن: میان اول از یه طرف استحکام‌شو کم می‌کنن و از یه طرف شکنندگی‌شو هم کم می‌کنن



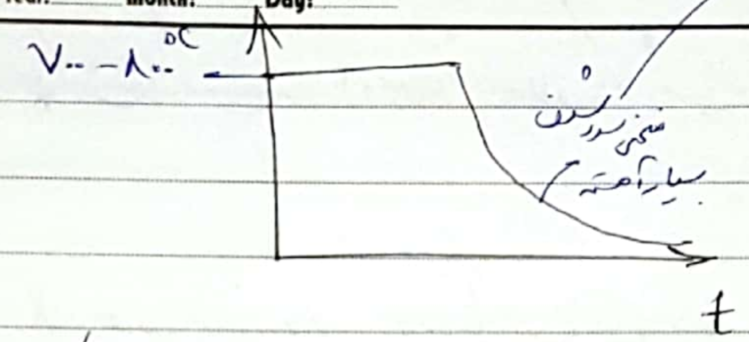
بعد از فرایند کوئنچ جهت حذف ایراد
تنش‌های پسماند ← حذف شکنندگی

آنیل کردن: معمولاً بعد از ساخت این فرایند صورت می‌گیرد. هدف اصلی در این فرایند اصلاح و بازیابی خواص ماده

← حذف تنش‌های پسماند

← درستانه (متوسط از لحاظ استحکام باشه)

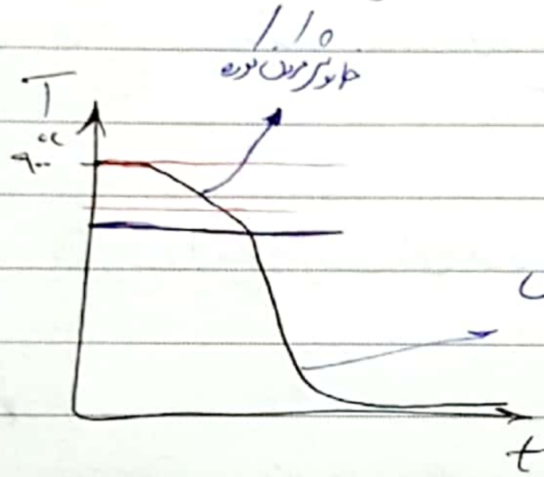
(با روغن ـ با هوای آزاد ـ با هوای کوره) ← که اگه با هوای کوره سرد شه فولاد نرم تر است و خیلی خیلی بیشتر و قیمت این فولاد هم بالاتره



تو همون دمای کوره میذاریم تا سرد شه (خیلی آهسته)

(N) نرمال کردن: با دمای ۹۰۰ درجه بیشتر بالا ـ همون آنیل کردنه ولی دمای بالاتر و در زمان کمتر

و این کار باعث میشه فولاد مستحکم تر بشه.



مواد مهندسی:
→ طبیعی
→ مصنوعی

درصد کربن ≤ ٪۲ ← فولاد ← متناسب با درصد کربن تقسیم میشه

آهن + کربن

درصد کربن > ٪۲ ← چدن

استانداردهای طبقه‌بندی فولادها

① AISI : انجمن آهن و فولاد آمریکا — متداول‌ترین در ایران

② DIN : " " " آلمان — متداول‌ترین در بازار

③ GOST : " " " روسیه

④ BT (En) : " " " انگلیس

چدن‌ها: ترکیبی از آهن + کربن (۲٫۵ درصد به بالا)

* رایج‌ترین چدن و ارزان‌ترین چدن => چدن خاکستری ← سطح مقطع آن خاکستریه

* چدن خاکستری بالاترین درصد کربن رو داره ← (۴٪)

* " " سیلیسیم داره، باعث میشه کربن به صورت لایه‌لایه در چدن رسوب کند

* " " بهترین سیالیت مذاب ریخته‌گری (چون سیلیسیم داره و به واسطه‌ی داشتن گرافیت لایه‌لایه است)

چدن سفید: نسبت به خاکستری، سفیدتره – درصد کربنش از خاکستری کمتره ← انقباضش کمتره – سیالیتش هم کمتره – کربن اش به صورت لایه‌لایه نیست – چدن سفید گران‌تر است – مقاومت به خوردگی و سایش بالایی داره – در پره‌های توربین خیلی استفاده میشه. ریخته‌گری‌ش بد است ولی نسبت به خاکستری سخت‌تره. — در صنعت

به صورت شکل پذیری اش بیشتر بشی

Subject: سپس آرام سرد کردن

Year: Month: Days

- چدن سفید رو آنیل میکنن ← (ترک‌ها و حباب‌هایی که رو دره‌های بالا از بین میبردن)

با آنیل کردن چدن سفید ← کربن به صورت گرافیت گلوله ای درمیاد.

با آنیل کردن ← شکل پذیری اش رو بالا می بریم.

چدن مالیبل:

مزیت: شکل پذیری بالاتری دارد. (استحکام کمتر) ← ضربه پذیر است - قابلیت ریخته گری های ... دارد.

عیب: از چدن سفید هم گرون تر است که اونم به خاطر آنیل شدنش است.

چدن نشکن: (چدن داکتیل) ← (بدنه ماشین ابزار)

خیلی شبیه فولاده - به خاطر درصد ضعیف کربن باعث میشه ساختارش شبیه فولاد بشه

کربن به شکلی در ساختار قرار گرفته که باعث دلپذیر میشه و ارتعاشات رو خیلی خوب جذب میکنه

این چدن از همه چدن‌ها که حتی از فولاد که هم گرون تر است زیرا هم خواص فولاد رو داره

هم خواص چدن.

آلومینیوم سری ۱۰۰۰ : آلومینیوم خالص ← برای انتقال حرارت و مصارف الکترونیکی استفاده می‌شود

" " ۲۰۰۰ : " + مس ← استحکام بالا - برای ساخت در و پنجره

" " ۳۰۰۰ : آلومینیوم + منگنز : مقاومت در برابر خوردگی - برای ورق سازی ظروف

" " ۴۰۰۰ : " + سیلیسیم : مقاومت متوسط و قابلیت لحیم و انتقال حرارت ـ مقاوم در برابر فشار و حرارت بالا مثل لوله تفنگ

" " ۵۰۰۰ : " + منیزیم : بر روی خواص کاربردی محیط (نیمی ۲) ← بدنه کشتی

" " ۶۰۰۰ : " + " + سیلیسیم : ~~[illegible]~~ مقاوم در برابر خوردگی با استحکام بالا

" " ۷۰۰۰ : " + روی : طرح کاربرد هوافضا، استحکام بسیار بالا، قیمت خیلی زیاد ← هوافضا

" " ۸۰۰۰ : " + لیتیم : کاربردهای آزمایشگاهی ← آزمایشگاهی

اگه فقط هدایت مدنظر باشه ← بیشترین ← نقره

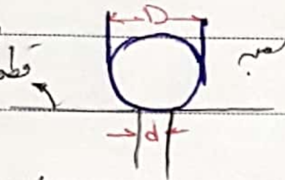
اگه علاوه بر هدایت، استحکام هم مدنظر باشه ← " ← سری ۶۰۰۰

Subject: .... Year: ...... Month: ...... Day: ......

سختی (Hardness) :

مقاومت سطح ماده در برابر تغییر شکل پلاستیک موضعی یا نفوذ یک ماده دیگر.

هدف از آزمایش سختی: ۱. تعیین سختی ماده ۲. یافتن خواص دیگر ماده از طریق یک تست غیر مخرب ← ارزان



① آزمایش برینل : (متداول‌ترین آزمایش)

ساچمه یا یک ساچمه فولادی یا تنگستن کارباید (جنس متناسب با قطعه کار مورد نظر هست) می‌کوبیم روی قطعه

d : قطر حاله ای که روی قطعه افتاده

D : قطر ساچمه مخصوص که با آن ضربه می‌زنیم.

اثر ساچمه

فرض کنید ساچمه را با نیروی P به قطعه ضربه می‌زنیم:

با BHN هم نشون میدن

$$\text{سختی برینل} = HB = \frac{2P}{\pi D\left(D-\sqrt{D^2-d^2}\right)} \quad (\text{Mpa}) \text{ یا } \text{kgf}/\text{mm}^2$$

(Hardness Brinel)

آزمایش تجربی :

در فولادها با آزمایش برینل :

$$S_{ut} = \begin{cases} (0.5 \times HB)\ (\text{ksi}) \\ (3.4 \times HB)\ (\text{MPa}) \end{cases}$$

(S_{ut} : استحکام نهایی کششی)

در فولادها و کلا مواد نرم : $S_{ut} \simeq S_{uc}$

درستش : استحکام نهایی فشاری $\simeq$ استحکام نهایی کششی

چدنی ها

$$S_{ut} = \begin{cases} (0{,}23 \times HB - 1{,}25)\ (kpsi) \\ (1{,}58 \times HB - 86)\ (MPa) \end{cases}$$

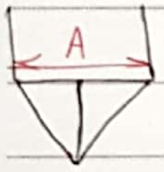
(در مواد ترد مثل چدن ها): $S_{uc} = (3 \sim 4) S_{ut}$

استحکام نهایی در فشار، ۳ الی ۴ برابر استحکام نهایی در کشش است.

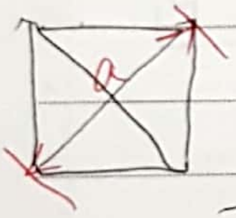
2 آزمایش سختی راکول: سر آن به شکل مخروط داره

استانداردهای انجام آزمایش: HRA، HRB، HRC — زیاد شدن عدد سختی، الگوهای زیادی داره

واحد: (kgf/mm^2)



3 آزمایش ویکرز: سرش همین راکول هست فقط شکلش هرم داره



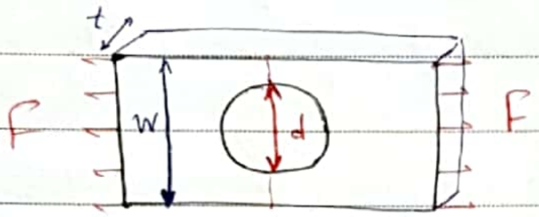
برای ابعاد کوچک کاربرد داره - با (HV) نشون میدن

4 آزمایش نوپ: برای ابعاد خیلی کوچک (میکرو) سر مثلثی چرخنده ساخته.

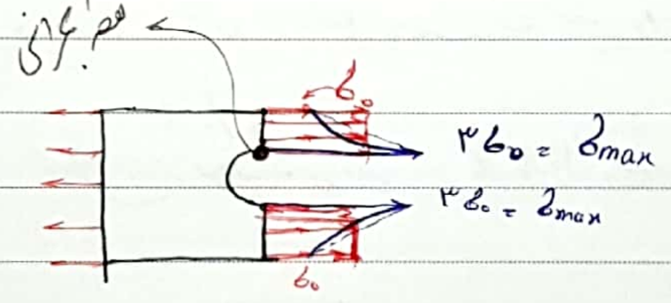
Subject: ....
Year: .... Month: .... Day: ....

ضریب تمرکز تنش:

افزایش موضعی سطح تنش در محل‌های وجود ناپیوستگی با ضریبی به نام ضریب تمرکز تنش بیان می‌شود.



$$\sigma_0 = \frac{F}{(W-d)t}$$



$\boxed{k = 3}$

ضریب تمرکز تنش تئوری $K_t = \dfrac{\sigma_{max}}{\sigma_0}$

تنش برای طراحی — روابط پایه مقاومت مصالح

K_t به چه چیزهایی بستگی دارد؟!

بارگذاری
هندسه قطعه → K_t
جنس قطعه

درسنامه: ضریب تمرکز تنش تئوری ربطی به جنس ندارد ولی در واقعیت به جنس بستگی دارد.

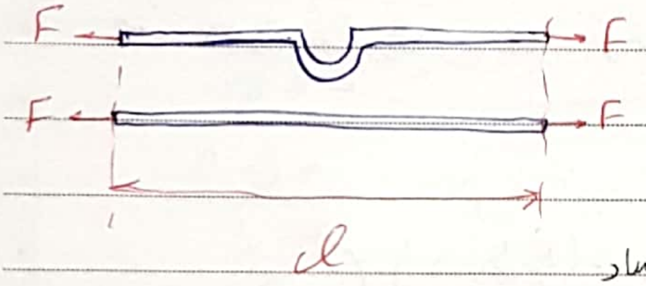
Subject:
Year: Month: Day:

$K_t = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_0}$ ← تنش نرمال

$K_{ts} = \frac{\tau_{max}}{\tau_0}$ ← تنش برشی

انواع تنش برای K_t

تمرکز تنش:



1 ~ Δl_1

2 ~ Δl_2

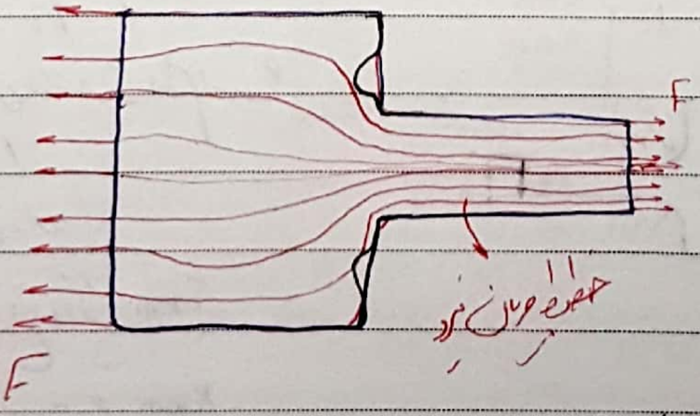
با نیروی برابر ← (1) بیشتر کش میاد

if $(F_1 = F_2) \Longrightarrow \Delta l_1 > \Delta l_2$

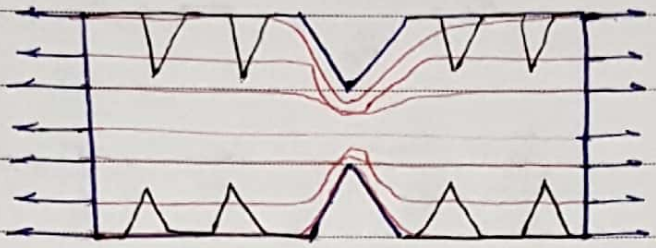
نتیجه: کرنش طولی در قطعه ۱ بیشتر است ← تنش در قطعه ۱ بیشتر است.

← خطوط جریان نیرو هرچه مستقیم تر باشد موجب تنش پایین تری می شود.

خطوط جریان نیرو:



← می توان سطح تمرکز تنش را کاهش داد.



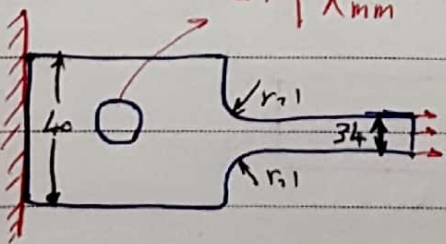
جهت کاهش سطح تمرکز تنش ← تیز تیزی‌های مشابهی را اضافه کردیم.

K_t:

- نرم ($\varepsilon_f \geq 0.05$):
  - بارگذاری استاتیکی → $K_t = 1$
  - دینامیکی نوسانی → K_t محاسبه شده در صورت اصلاح شده K_f استفاده گردد
- ترد ($\varepsilon_f < 0.05$):
  - بارگذاری استاتیکی → K_t محاسبه می‌شود ← معیار تسلیم ماده ترد
    - از ریخته‌گری حاصل شود (چدن‌ها) → $K_t = 1$
  - بارگذاری نوسانی → K_t محاسبه شده در صورت اصلاح شده K_f استفاده گردد

مثال: میله‌ای با سطح مقطع مستطیل از جنس ماده‌ای ترد مطابق شکل زیر تحت بار 10kN قرار دارد.

ضخامت $t = 2mm$ ، $d = \begin{cases} 4mm \\ 8mm \end{cases}$



مقطع بحرانی در هر حالت کدام است؟

① شعاع راکورد
② سوراخ با قطر 4mm
③ " " " 8mm

برای سوراخ جدول A_1: $d = 4mm$;

$$\sigma_0 = \frac{F}{A} = \frac{F}{(w-d)t} = \frac{10000}{(40-4)2} = 139\,MPa$$

$$\sigma_{max} = K_t \cdot \sigma_0$$

(K_t ← جدول A_1) ضمائم: $\frac{d}{w} = \frac{4}{40} = 0.1$ —A_1→ $K_t = 2.7$ درست

$\Rightarrow \sigma_{max} = ۲٫۷ \times ۱۴۹ = ۳۸۰\ MPa$

حل: $d = ۸\ mm$;

$\sigma_0 = \frac{F}{A} = \frac{۱۰۰۰۰}{(w-d)\,t} = \frac{۱۰۰۰۰}{(۴۰-۸)۲} = ۱۵۶\ MPa$

~~$\frac{w}{d} = \frac{۴۰}{۸} = ۵$~~ $\frac{d}{w} = \frac{۱}{۵} = ۰٫۲$

$\frac{A_1\ \text{جدول}}{d/w = ۰٫۲}$ $K_t = ۲٫۵ \Rightarrow \sigma_{max} = ۲٫۵ \times ۱۵۶ = ۳۹۰\ MPa$

می‌بینیم σ_{max} در این حالت بیشتر می‌شود.

برای شعاع راکورد: (A_5)

(۱)

$\sigma_0 = \frac{F}{A} = ۱۴۷\ MPa \leftarrow \frac{۱۰۰۰۰}{۳۴ \times ۲}$

A-5 $\rightarrow$ $\frac{r}{d} = \frac{۱}{۳۴} = ۰٫۰۲۹$; $\frac{D}{d} = \frac{۴۰}{۳۴} = ۱٫۱۸$ $\xrightarrow{A_5} K_t \simeq ۲٫۵$

$\Rightarrow \sigma_{max} = ۲٫۵ \times ۱۴۷ = ۳۶۸\ MPa$

نتیجه: مقطع عرضی مستطیلی است با قطر ۸mm یعنی شعاع راکورد برای طراحی بهتر است.

تئوری های شکست :

می‌خواهیم مبنایی برای طراحی این قطعات داشته باشیم : متناسب با نوع بار، دو دسته معیار وجود دارد :

۱. طراحی بر مبنای بارگذاری استاتیکی

۲. طراحی " " " نوسانی (دینامیکی)

$n = \dfrac{\text{تنش مجاز (شکست)}}{\text{تنش اعمالی}}$ ضریب اطمینان

بتن : $S_{uc} \simeq 3-4\, S_{ut}$ (فشاری S_{uc}، کششی S_{ut})

طراحی بر مبنای بارگذاری استاتیکی :

تئوری های شکست

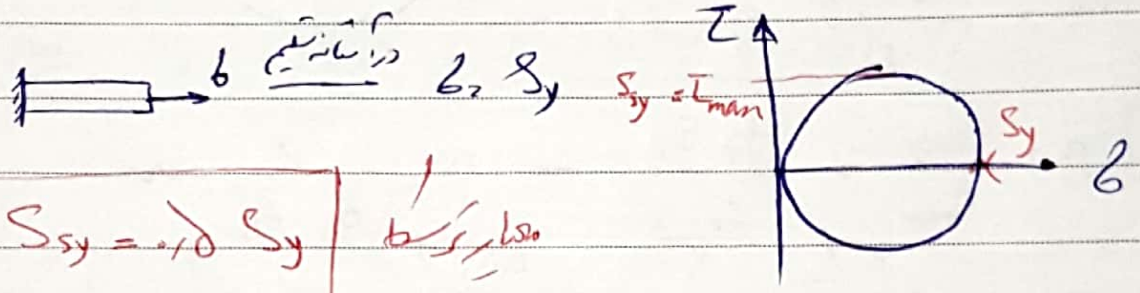
- ترد : $\varepsilon_f < 0.05$
  - آیا معیار مقاومت فشاری مد نظر است؟
    - خیر ← معیار کولمب اصلاح شده (MM)
    - بله ← معیار کولمب-مور مواد ترد (BCM)
- نرم : $\varepsilon_f \geq 0.05$
  - $S_{uc} \simeq S_{ut}$
    - خیر ← معیار کولمب-مور مواد نرم (DCM)
    - بله ← آیا معیار مقاومت فشاری مد نظر است؟
      - خیر ← فون میزز : حداکثر انرژی واپیچش (DE)
      - بله ← ترسکا : ماکزیمم تنش برشی (MSS)

Subject: .... Year: ...... Month: ...... Day: ......

معیار ترسکا: طبق این معیار، شکست در قطعه‌ای با جنس نرم زمانی اتفاق می‌افتد که حداکثر تنش برشی برابر یا بیشتر از حداکثر تنش برشی قطعه در آزمایش کشش ساده باشد.

حداکثر تنش برشی در قطعه ← $\tau_{max} \geq S_{sy}$ ← تنش برشی در آزمایش کشش ساده

در آزمایش کشش تسلیم σ, S_y ، $S_{sy} = \tau_{max}$



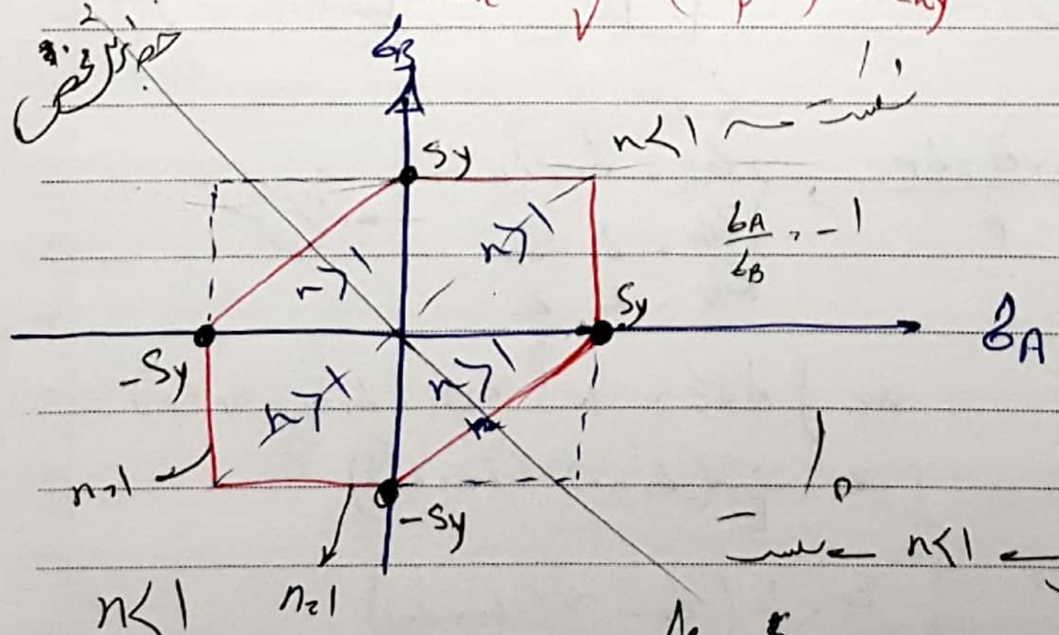
$$S_{sy} = 0.5\, S_y$$ معیار ترسکا

$$n = \frac{S_{sy}}{\tau_{max}} = \frac{0.5\, S_y}{\tau_{max}}$$

در صفحه x-y ⇒

$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

تنش‌های صفحه‌ای:



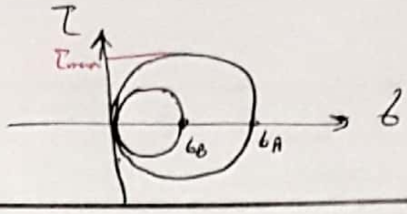
بیرون ← $n<1$ ← شکست

روی ← $n=1$ ← در آستانه شکست

توی ← $n>1$ ← ایمن

درسنامه

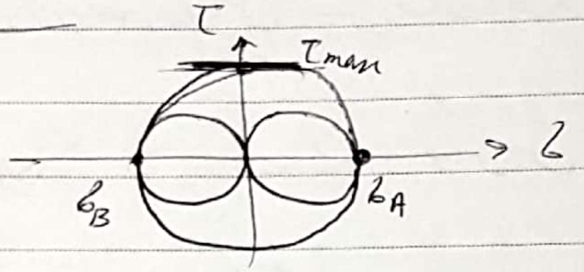
$0 \le \sigma_B , \sigma_A :$ ⟶



Subject: Year: Month: Day:

ترسکا: $n = \dfrac{S_{sy}}{\tau_{max}} = \dfrac{\frac{1}{2} S_y}{\frac{1}{2}\sigma_A} = \dfrac{S_y}{\sigma_A}$ ✓

$\sigma_B \le 0 \le \sigma_A :$



$\tau_{max} = \dfrac{\sigma_A - \sigma_B}{2}$

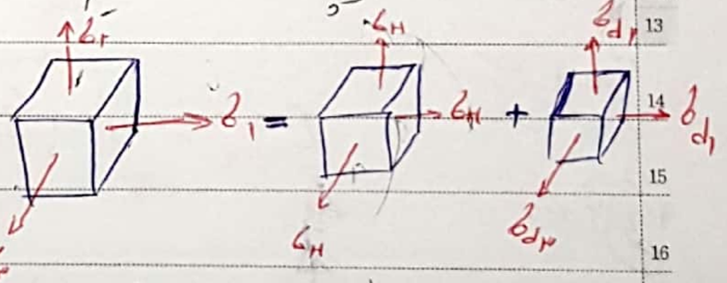
ترسکا: $n = \dfrac{S_{sy}}{\tau_{max}} = \dfrac{\frac{1}{2} S_y}{\frac{\sigma_A - \sigma_B}{2}} \Rightarrow n = \dfrac{S_y}{\sigma_A - \sigma_B}$ ✓

معیار فون میزز: طبق این معیار، شکست در قطعه زمانی اتفاق می‌افتد که چگالی انرژی دایستورشن قطعه از چگالی انرژی دایستورشن قطعه در آستانه تسلیم در آزمایش کشش بیشتر باشد.

$u_d \geq u_d^*$

u_d ↓ چگالی انرژی دایستورشن قطعه تحت بارگذاری

u_d^* ⟶ چگالی انرژی دایستورشن در آستانه شکست در آزمایش کشش ساده



تنش هیدرواستاتیکی: $\sigma_H = \dfrac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3}$,
$$\begin{cases} \sigma_{d_1} = \sigma_1 - \sigma_H \\ \sigma_{d_2} = \sigma_2 - \sigma_H \\ \sigma_{d_3} = \sigma_3 - \sigma_H \end{cases}$$ ⟶ تنش انحرافی

$u_T = u_H + u_d$

u_T: چگالی انرژی کل

u_H: چگالی انرژی هیدرواستاتیکی

u_d: چگالی انرژی تنش‌های انحرافی

$u_T = \int \sigma d\varepsilon = \frac{1}{2}(\sigma_1 \varepsilon_1 + \sigma_2 \varepsilon_2 + \sigma_3 \varepsilon_3)$

$$\begin{cases} \varepsilon_1 = \dfrac{1}{E}(\sigma_1 - \nu(\sigma_2 + \sigma_3)) \\ \varepsilon_2 = \dfrac{1}{E}(\sigma_2 - \nu(\sigma_1 + \sigma_3)) \\ \varepsilon_3 = \dfrac{1}{E}(\sigma_3 - \nu(\sigma_1 + \sigma_2)) \end{cases}$$

$u_d = u_T - u_H = \dfrac{(1+\nu)}{3E}\left[\dfrac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2}{2}\right]$

درسنامه

Subject
Date

معیار فون میزز :

$$U_T = U_H + U_d$$

(U_T: $\int \sigma d\varepsilon$ — چگالی انرژی کرنشی کل ؛ U_H: ✓ — چگالی انرژی ناشی از تغییر حجم (تنش‌های هیدرواستاتیکی) ؛ U_d: ? — چگالی انرژی اعوجاجی (DE))

$$U_d = U_T - U_H$$

$$\Rightarrow U_d = \frac{1+\nu}{3E}\left[\frac{(\sigma_1-\sigma_2)^2+(\sigma_2-\sigma_3)^2+(\sigma_1-\sigma_3)^2}{2}\right]$$

در آزمایش کشش ساده : $\sigma_1 = S_y$ ← آستانه تسلیم ، $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$

$$\Rightarrow U_d^* = \frac{1+\nu}{3E} S_y^2$$

شرط تسلیم طبق معیار فون میزز $\Rightarrow U_d \geq U_d^*$

$$\downarrow$$

$$\frac{(\sigma_1-\sigma_2)^2+(\sigma_2-\sigma_3)^2+(\sigma_1-\sigma_3)^2}{2} \geq S_y^2$$

$\sqrt{\ }$ بگیرید

Subject
Date

$$\sigma' = \left(\frac{(\sigma_1-\sigma_2)^2 + (\sigma_2-\sigma_3)^2 + (\sigma_1-\sigma_3)^2}{2}\right)^{1/2}$$

تنش موثر یا تنش فون میزز

شرط شکست : $\sigma' \geq S_y$

$$n = \frac{S_y}{\sigma'} \begin{cases} n>1 \; ; & \text{ایمن} \\ n=1 \; ; & \text{آستانه شکست} \\ n<1 \; ; & \text{شکست} \end{cases}$$

تنش دو بعدی:

$\sigma' = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1\sigma_2}$ تنش های اصلی

$\sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x\sigma_y + 3\tau_{xy}^2}$ تنش های کلی

تنش های سه بعدی:

$\sigma' = \left(\frac{(\sigma_1-\sigma_2)^2 + (\sigma_2-\sigma_3)^2 + (\sigma_1-\sigma_3)^2}{2}\right)^{1/2}$ تنش های اصلی

$\sigma' = \left(\frac{(\sigma_x-\sigma_y)^2 + (\sigma_y-\sigma_z)^2 + (\sigma_x-\sigma_z)^2}{2}\right)^{1/2}$ ادامه

Subject
Date

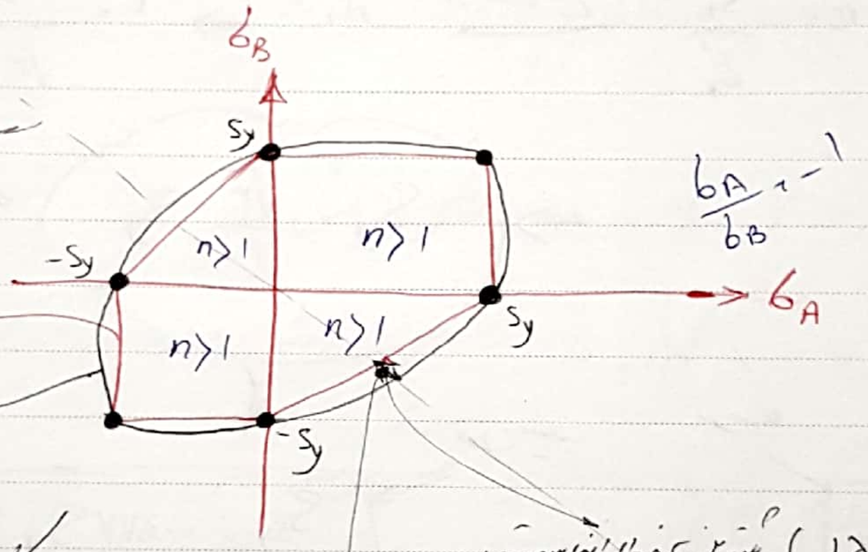
$\beta = \frac{\Delta V}{V_1}$ ضریب سالد

تنش های ۲ بعدی:

$n = \frac{S_y}{\sigma'} \longrightarrow \sigma' = \frac{S_y}{n}$

$\longrightarrow \sigma_A^2 + \sigma_B^2 - \sigma_A\sigma_B = \left(\frac{S_y}{n}\right)^2$

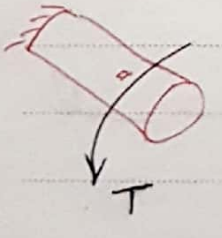
$\xrightarrow{n=1} \sigma_A^2 + \sigma_B^2 - \sigma_A\sigma_B = (S_y)^2$

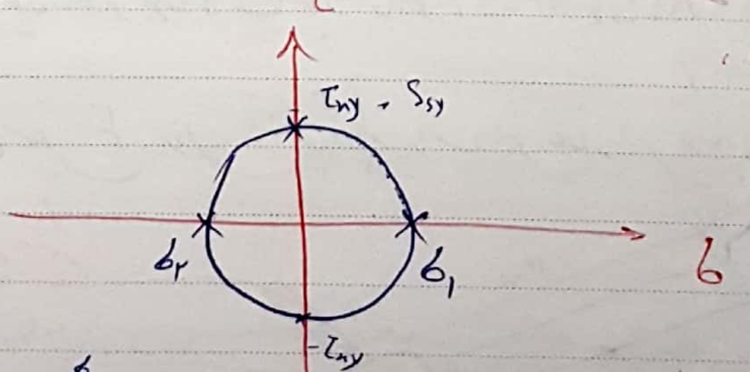


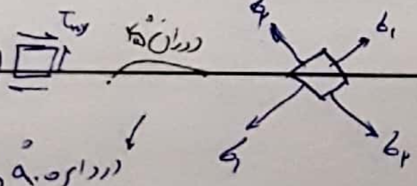
درانی: فون میزز مثل اینه ولی ترسکا محافظه کارانه

⇐ فون میزز درست مثله ☺

آزمایش پیچش ساده:







$\Rightarrow \boxed{\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = -1}$

Subject

Date

میدان تنش ۲ بعدی در حالت عمومی:

[illegible]

عمومی ⟵ $\sigma' = \left[\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau_{xy}^2\right]^{1/2}$

آستانه تسلیم در آزمایش پیچش ساده: $(\sigma_x = \sigma_y = 0)$

$$\sigma' = (3\tau_{xy}^2)^{1/2} = (3 S_{sy}^2)^{1/2}$$

فون میزز: $n = \dfrac{S_y}{\sigma'}$ $\xrightarrow{\text{در آستانه تسلیم}}$ $n = 1 \Rightarrow 1 = \dfrac{S_y}{\sqrt{3}\, S_{sy}}$

$$\Rightarrow S_{sy} = \frac{\sqrt{3}}{3} S_y$$

معیار فون میزز

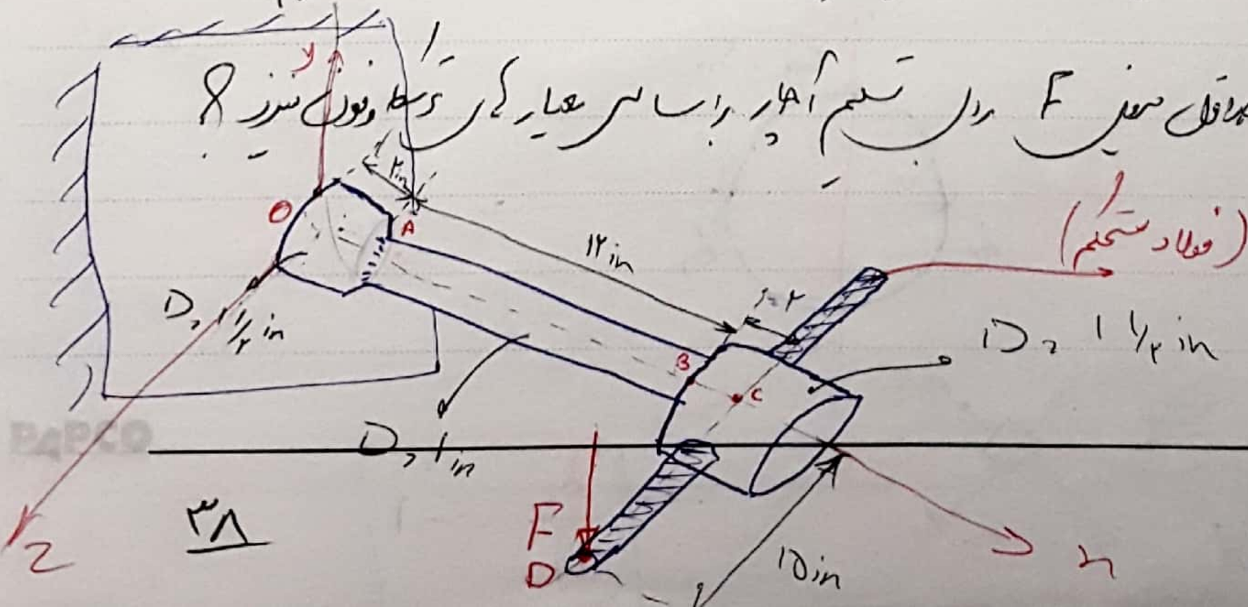
ترسکا: $S_{sy} = 0.5\, S_y$

فون میزز: $S_{sy} = 0.577\, S_y$

$S_y = 81\,kpsi$ ٪۱۵ اختلاف

مثال: مطابق شکل نیروی F در انتهای D به اهرم از جنس AISI 1035 با حد تسلیم 81 kpsi داده شده است.

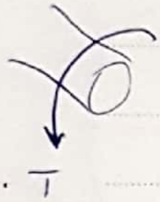
مطلوب است مقدار نیروی F برای تسلیم اهرم بر اساس معیارهای ترسکا و فون میزز؟



Subject
Date

در این جزء که طراحی پیدا میکنیم نقطه بحرانی مسئله است. (کجا تمرکز تنش داریم؟!)

چون ماده نرم است ← در مواد نرم در بارگذاری استاتیکی $K_t = 1$



F را انتقال میدهیم به C و در آنجا هم برشی و پیچشی داریم ← $T = 15F$

در نقطه D بیشترین تنش خمشی را داریم اما قطر در قسمت میانی کمتر است.

پس همه جزء را باید لحاظ کنیم!!

نقاط حساس:
- در C : برشی و پیچشی داریم
- در B : ضمن شرایط C را داره به علاوه اینکه هم خمش داره هم قطرش کمتره (B از ... حساس‌تره)

کدام؟
- در A : خمش کمتر مقطع کوچکتر
- در D : خمش بیشتر مقطع بزرگتر

قانون:
- اگر $\frac{l}{D} \geq 10$ ← خمش بزرگ و غالب میشه
- اگر $\frac{l}{D} < 10$ ← برش بررسی شود

در مسئله خمش غالب ← D یا A ← $\sigma = \frac{Mc}{I}$ ، I توان ۴ داره و c توان ۱!

← مقطع حساس در نقطه A می‌باشد.

PAPCO

Subject
Date

محاسبه تنش {

تنش خمشی: $\sigma_x = \frac{MC}{I} = \frac{32M}{\pi d^3} = \frac{32(14F)}{\pi(1)^3} = 142.6F$

تنش پیچشی: $\tau_{xy} = \frac{TC}{J} = \frac{16T}{\pi d^3} = \frac{16(15F)}{\pi(1)^3} = 76.4F$

معیار ترسکا: $n=1$

$$n = \frac{S_{sy}}{\tau_{max}}$$

$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} = 104.5F$$

آستانه شکست: $n=1$ → $S_{sy} = 0.5 S_y$

↓

حداقل نیروی F

$$n = \frac{S_{sy}}{\tau_{max}}$$

$S_{sy} = 0.5 S_y$, 81000 psi ; $n = 1$; $\tau_{max} = 104.5F$

→ $F = 388\ lbf$ ترسکا

معیار فون میزز: $n = \frac{S_y}{\sigma'}$

$$\sigma' = (\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x\sigma_y + 3\tau_{max}^2)^{1/2} = 194.5F$$

$$n = 1 \rightarrow 1 = \frac{S_y}{194.5F}$$

S_y = 81000 psi

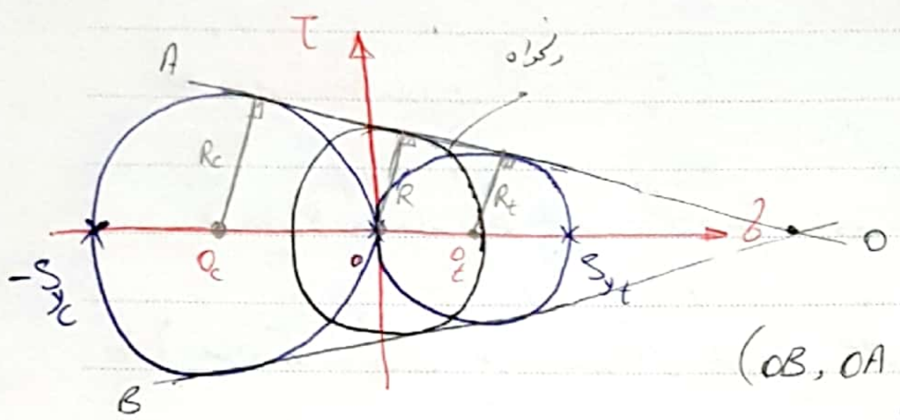
→ $F = 416\ lbf$ فون میزز ✓

PAPCO

Subject
Date

معیارهای تسلیم (شکست) برای مواد ترد $S_{y_t} \neq S_{y_c}$ ← $(S_{y_c} > S_{y_t})$

(آزمایش ساده)



تجربه: هر تنشی بین دو خط مماس (بین OA, OB) ناحیه ایمن است.

$(R_c \parallel R \parallel R_t)$

تالس: $\frac{R - R_t}{OO_t} = \frac{R_c - R_t}{O_tO_c}$ ← جایگذاری

$R = \frac{\sigma_A - \sigma_B}{2}$

$R_t = \frac{S_{yt}}{2}$

$OO_t = \left| -\frac{\sigma_A + \sigma_B}{2} + \frac{S_{yt}}{2} \right|$

$R_c = \frac{S_{yc}}{2}$

$$\left(\frac{\frac{\sigma_A - \sigma_B}{2} - \frac{S_{yt}}{2}}{\frac{S_{yt}}{2} - \frac{\sigma_A + \sigma_B}{2}} = \frac{\frac{S_{yc}}{2} - \frac{S_{yt}}{2}}{\frac{S_{yt}}{2} - \frac{S_{yc}}{2}} \right)$$

ساده سازی ⇓

$$\boxed{\frac{\sigma_A}{S_{y_t}} - \frac{\sigma_B}{S_{y_c}} = 1}$$

معیار مور-کولمب

یا

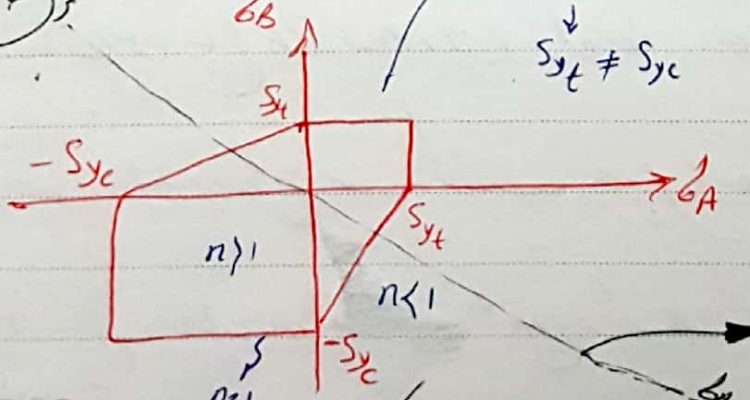
همین تنش صفحه ای

↓

$S_{y_t} \neq S_{y_c}$

تنش دو بعدی:

برش خالص



تنش روی این خط

↓

$|\sigma_A| = |\sigma_B|$

* مواد ترد تحت برش سریع می شکند و کاملا تنش زیرتر دفورمه می شوند.

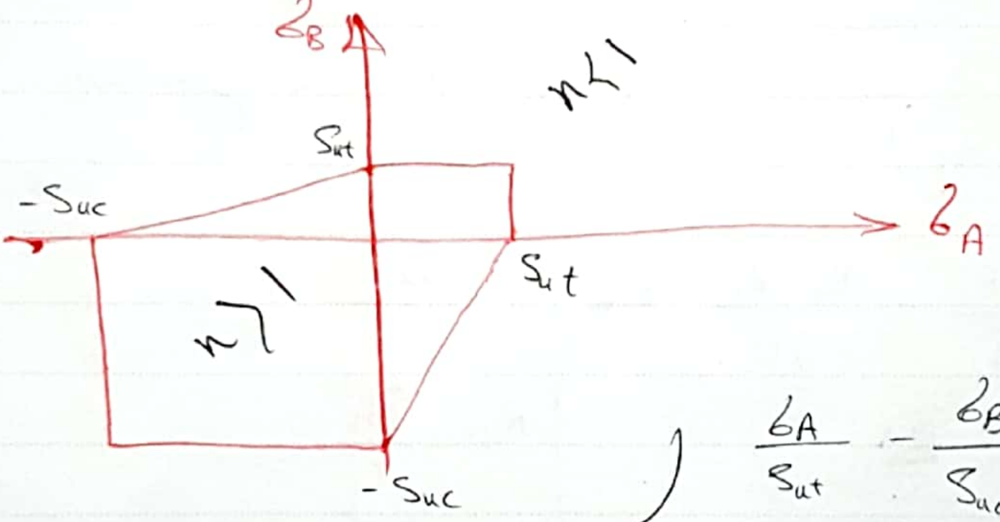
Subject
Date

* معیار مور-کولمب ⇐ محافظه کارانه است.

معیار شکست مواد ترد: ($\varepsilon_f < 0.05$)

• اگر معیار محافظه کارانه مد نظر باشد از معیار مور-کولمب مواد ترد استفاده می‌کنیم.

* (مواد ترد شکست تسلیم و شکست نهایی کلیه حالت به صورت شکننده است، همزمان تسلیم نظریه) ($S_y = S_u$)



$$\frac{\sigma_A}{S_{ut}} - \frac{\sigma_B}{S_{uc}} = \frac{1}{n}$$

$$n = \frac{S_{uc}}{\max(|\sigma_A|, |\sigma_B|)} \quad , \quad \frac{S_{ut}}{\max(|\sigma_A|, |\sigma_B|)}$$

$$\begin{cases} \sigma_{max} = \sigma_A \\ \sigma_{min} = \sigma_B \end{cases}$$

معیار مور اصلاح شده:

بر اساس نتایج تجربی در ناحیه دوم $\sigma_A \sigma_B < 0$، معیار مور-کولمب برای مواد ترد با نتایج تجربی تطبیق ندارد و در واقع مور-کولمب معیاری محافظه کارانه است.

از این رو معیار مور-کولمب اصلاح شده جهت افزایش دقت معیار پیشنهاد گردید.

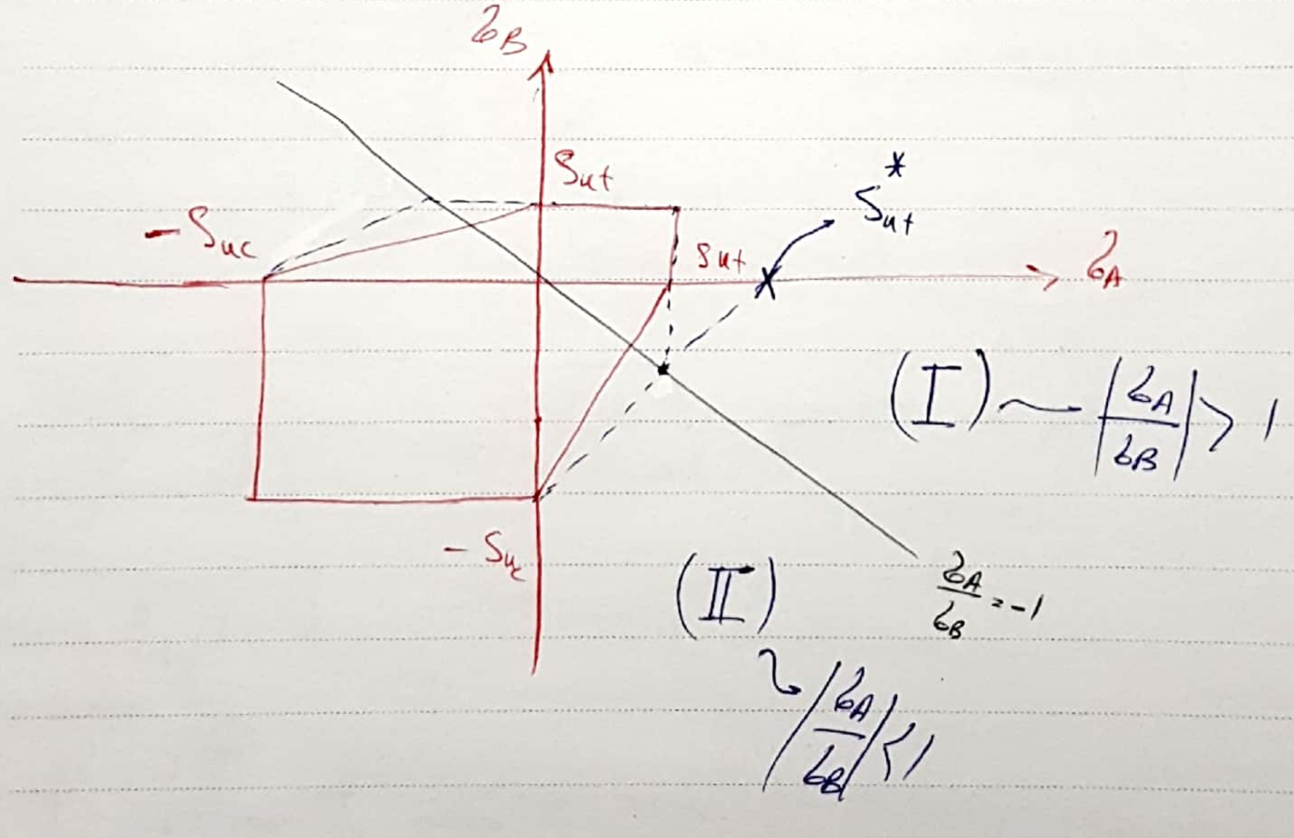
Subject
Date

if $\sigma_B < 0 < \sigma_A$, $\left|\frac{\sigma_A}{\sigma_B}\right| > 1$ $\xrightarrow{\text{آنگاه}}$ $n = \frac{S_{ut}}{|\sigma_A|}$ 1

if $\sigma_B < 0 < \sigma_A$, $\left|\frac{\sigma_A}{\sigma_B}\right| < 1$ $\xrightarrow{\text{آنگاه}}$ $\frac{\sigma_A}{S^*_{ut}} - \frac{\sigma_B}{S_{uc}} = \frac{1}{n}$ 2

$$S^*_{ut} = \frac{S_{uc} - S_{ut}}{S_{uc} \times S_{ut}}$$

if $\sigma_B < 0 < \sigma_A$, $\left|\frac{\sigma_A}{\sigma_B}\right| = 1$ $\xrightarrow{\text{آنگاه}}$ هم میشه از 1 استفاده کرد هم 2



مثال: در مثال قبل، اگر جنس اجزاء چدن 30 ASTM طبق تئوری های مور کولمب و مور اصلاح شده مطلوب است یافتن حداکثر F که موجب شکست اجزاء شود.

30 ASTM چدن ⟶ $\begin{cases} S_{uc} = 109 \text{ kpsi} \\ S_{ut} = 31 \text{ kpsi} \end{cases}$

چون ماده ریخته‌گری است مجدداً مثل مثال قبل که ماده نرم بود تمرکز تنش ۱ است.

$\begin{cases} K_t = 1 \\ K_{ts} = 1 \end{cases}$

از مثال قبل داشتیم:

$$\begin{cases} \sigma = K_t \dfrac{32M}{\pi d^3} = 142.6F \\ \tau = K_t \dfrac{16T}{\pi d^3} = 76.4F \end{cases} \quad (1)$$

$$\overset{\sigma_{max}}{\sigma_A}, \overset{\sigma_{min}}{\sigma_B} = \frac{\sigma_x + 0}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - 0}{2}\right)^2 + (\tau_{xy})^2} \longrightarrow \begin{cases} \sigma_A = 175.8F \\ \sigma_B = -33.2F \end{cases}$$

$\sigma_A \sigma_B < 0$

ناحیه II ⟸ طبق معیار مور - کولمب برای مواد ترد:

$$\frac{\sigma_A}{S_{ut}} - \frac{\sigma_B}{S_{uc}} = \frac{1}{n} \xrightarrow[n=1]{\text{آستانه شکست}} \boxed{\frac{\sigma_A}{S_{ut}} - \frac{\sigma_B}{S_{uc}} = 1} \quad (2)$$

$$(1),(2) \longrightarrow \boxed{F = 167 \text{ lbf}}$$

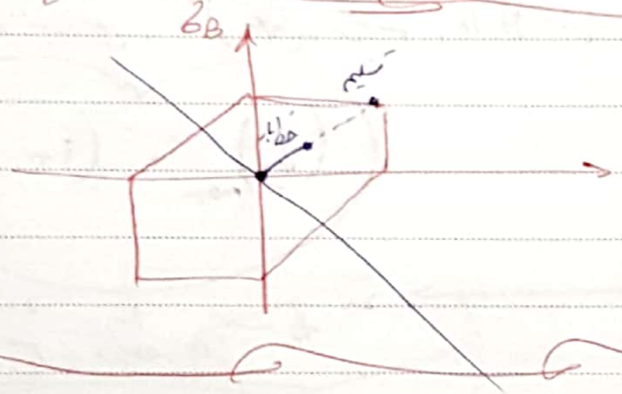
$\sigma_A \cdot \sigma_B < 0$ — تنش ها، مور اصلاح شده

$$\rightarrow \left|\frac{\sigma_A}{\sigma_B}\right| = \left|\frac{175.8F}{-33.2F}\right| > 1 \rightarrow n = \frac{S_{ut}}{175.8F}, \quad n = 1$$

$$S_{ut} = 175.8F \rightarrow \boxed{F = 176\ lbf}$$

$S_{ut} = 31 \times 10^3$

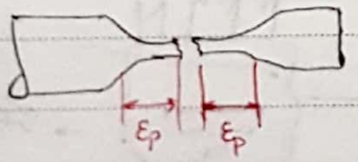
نتیجه: مور اصلاح شده واقعی تر و دقیق تره ← (بر اساس مور-کولمب محافظه کارانه تره)



مقدمه ای بر مطالب شکست:

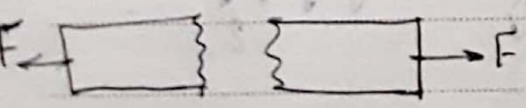
شاخه ای از علم مکانیک است که به مطالعه نحوه رشد ترک که و شکست قطعات می‌پردازد

انواع شکست (ابتدایی، استاتیکی)



۱. شکست نرم: در مقطع شکست تغییر شکل پلاستیک مشهود است.

۲. ترد: ـ ـ ـ ـ ـ ـ دیده نمی‌شود.



* اگه S_y به S_u نزدیک باشد ← شکست ترد اتفاق می افتد ← $\frac{S_y}{S_u} \to 1$

مواد ترد ـــــ شکست ترد

مواد نرم → در دماهای پایین

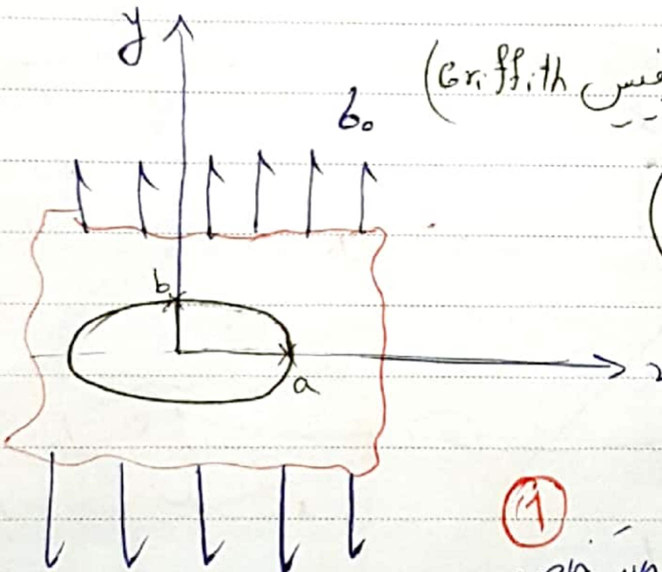
$\frac{S_y}{S_u} \to 1$

* این زمانی اتفاق می‌افتد که دما پایین باشد که در این حالت شکست ترد هم داریم

چون در مواد ترد S_y به S_u نزدیک است.

(معیار گریفیث Griffith)

شکست الاستیسیته:



$$(\sigma_y)_{max} = \left(1 + \frac{2a}{b}\right)\sigma_0$$

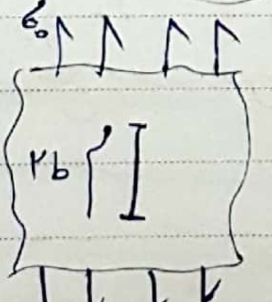
* تمرکز تنش در نقطه a است

(1) مشخص: $(a = b) \to (\sigma_y)_{max} = 3\sigma_0$

$\to K_t = 3$

(3) $\frac{a}{b} \to 0$ $(a \to 0)$

ترک طولی (هم راستا با تنش)

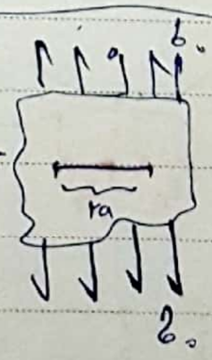


$(\sigma_y)_{max} \to \sigma_0$

(2) $\frac{a}{b} \to \infty$ $(b \to 0)$

⇓

$(\sigma_y)_{max} = \infty$



Subject . Year. Month. Day.

ضریب شدت تنش :

$$K_I = \sigma\sqrt{\pi a}$$

تنش نرمال ← σ

ضریب شدت تنش ← K_I

a ← پارامتر هندسی معرف طول ترک

برای ترک های بوزی شکل در قطعات نامحدود

در شرایط بارگذاری عمومی این رابطه باید اصلاح شود :

$$K_I = \beta\sigma\sqrt{\pi a}$$

β ← مربوط به هندسه ترک

ضریب شدت تنش
1. هندسه ترک
2. نوع بارگذاری
3. هندسه مقطع

چقرمگی شکست :

چقرمگی شکست مقداری از K_I است یا سطحی از K_I که منجر به شروع رشد ترک میشود. واحد : K_I : $MPa\sqrt{m}$

K_I → دراستانه رشد ترک

K_{IC} : انرژی مورد نیاز در نوک ترک برای شروع رشد ترک

C ← critical

pilavaran

برای قطعات ترک دار

Subject .   Year.   Month.   Day.

ضریب اطمینان در برابر رشد ترک:

$$n_c = \frac{K_{IC}}{K_I}$$

اگر $n_c = 1$ ← (شروع رشد ترک) ← $K_{IC} = \beta \sigma_c \sqrt{\pi a}$

σ_c = این تنش بحرانی. تنشی که به قطعه وارد می‌کنیم برای شروع رشد ترک

تعریف مجدد ضریب اطمینان رشد ترک:

$$n_c = \frac{\sigma_c}{\sigma_{\text{اعمالی}}} \quad ; \quad \sigma_c = \frac{K_{IC}}{\beta\sqrt{\pi a}}$$

مثال: ورق نازک از جنس آلیاژ تیتانیوم می‌خواهد ساخته شود.

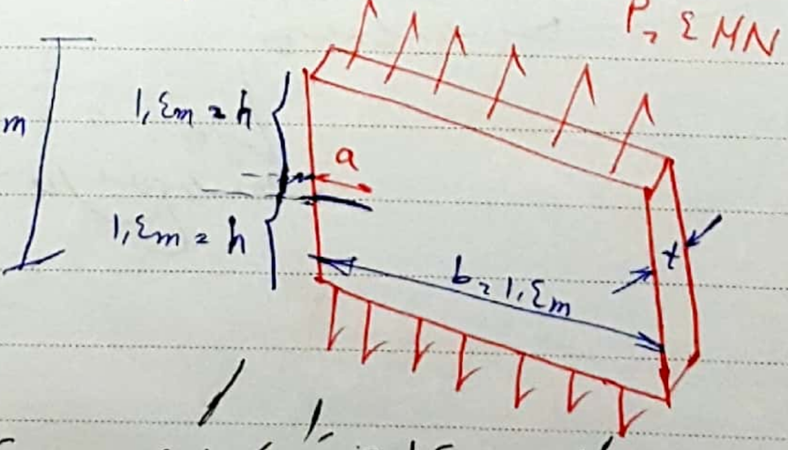
S_y: MPa

K_{IC}: MPa$\sqrt{m}$

	K_{IC}	S_y
① Ti-6AL-4V (ضعیف‌تر از نظر استحکام)	115	910
② Ti-6AL-4V (محکم‌تر و شکننده‌تر)	55	1035

مشخصات آلیاژها

$(n_{S.F} = 1.3)$



فرض کنید در داخل این قطعه تنها ترک‌های بزرگتر از 2.7mm قابل شناسایی‌اند. مطلوب است انتخاب نوع ماده بطوریکه محصول سبک‌ترین و مقاوم‌ترین طرح در برابر شکست باشد.

حل: بررسی از نظر شکست در اثر تسلیم. قطعه بدون ترک فرض می‌شود.

$$n = \frac{S_y}{\sigma}, \quad \sigma = \frac{P}{bt} \;\Big\}\; \longrightarrow n = \frac{bt S_y}{P} \longrightarrow t = \frac{nP}{b S_y}$$

ماده چقرمه‌تر: $t = \dfrac{1.3 \times 4 \times 10^6}{1.4 \times 0.91 \times 10^6} = 4.58 \text{ mm}$

ماده محکم‌تر: $t = \dfrac{1.3 \times 4 \times 10^6}{1.4 \times 1.45 \times 10^6} = 3.59 \text{ mm}$

قطعه ترک‌دار:

شروع رشد ترک: $n_c = 1 \longrightarrow K_I = K_{IC}$

$$\beta \sigma_c \sqrt{\pi a} = K_{IC} \longrightarrow \sigma_c = \frac{K_{IC}}{\beta \sqrt{\pi a_1}} \quad (2.7 \text{ mm})$$

شکل ۲: $\dfrac{h}{b} = \dfrac{1.4}{1.4} = 1, \quad \dfrac{a}{b} = \dfrac{2.7 \times 10^{-3} \text{ m}}{1.4 \text{ m}} = 0.00193$

$$\beta \simeq 1.1 \longrightarrow \sigma_c = \frac{K_{IC}}{1.1\sqrt{\pi \times 2.7 \times 10^{-3}}}$$

ماده چقرمه‌تر ⟵ $\sigma_c = 542.9 \text{ MPa}$ ⟵ معیار شکست رشد ترک

ماده محکم‌تر ⟵ $\sigma_c = 1125 \text{ MPa}$ ⟵ معیار شکست تسلیم

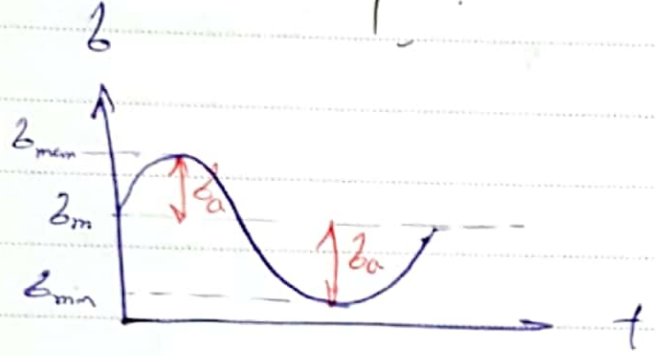
$$\boxed{t_c = 4.08 \text{ mm}}$$

pilavaran

ماده مستحکم‌تر $\longrightarrow t = \frac{nP}{b\sigma_c} = ٦,٨٤\,mm$

پس برای طراحی قطعه، ضخامت بیشتر یعنی ماده ضعیف‌تر را برای اتصال محصول انتخاب کرد باید

در ضریب اطمینان یکسان ($n_{SF} = ١,٢$) انتخاب می‌کنیم



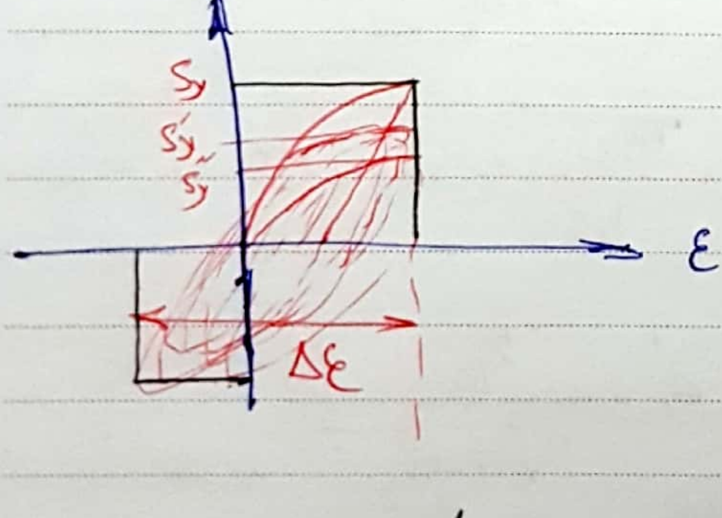
طراحی در برابر بارگذاری نوسانی:

تنش میانگین: $\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{٢}$

دامنه تنش نوسانی: $\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{٢}$

$\sigma_{max} = \sigma_m + \sigma_a$

$\sigma_{min} = \sigma_m - \sigma_a$



$\varepsilon \longrightarrow \frac{\Delta\varepsilon}{٢} = \frac{\Delta\varepsilon_e}{٢} + \frac{\Delta\varepsilon_f}{٢}$

اثر بوشینگر:

سه دسته‌بندی ← تشخیص خستگی (تعیین عمر قطعه در برابر خستگی)

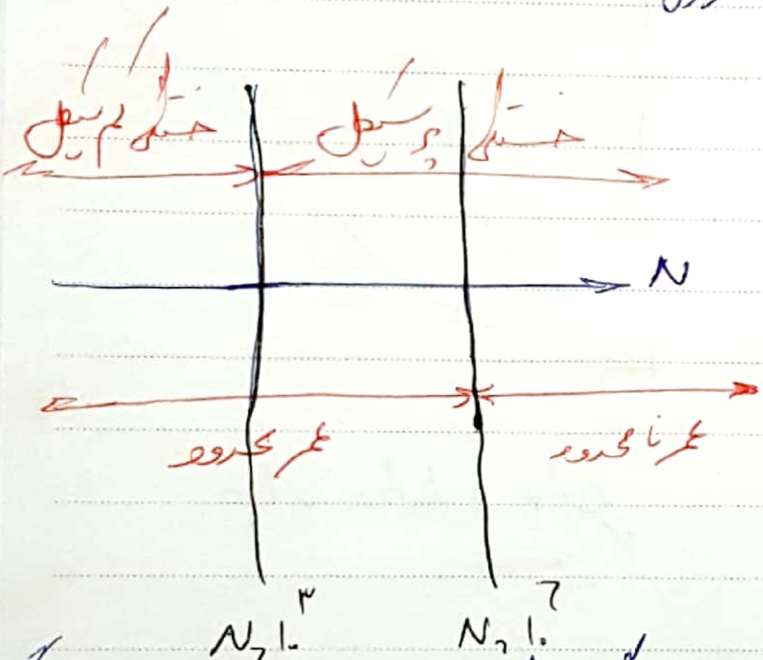
① کرنش - عمر

② تنش - عمر

③ مکانیک شکست خطی

خستگی: افت استحکام ماده در برابر بارگذاری تکراری

N: تعداد سیکل تا شکست خستگی



① کرنش - عمر: دقیق در خستگی کم سیکل و در خستگی پرسیکل دارای خطا است ـــ از نظر محاسبات سنگین ✗

② تنش - عمر: ؍؍ ؍؍ پرسیکل و ؍؍ کم سیکل ؍؍ ؍؍ ـــ ؍؍ ساده ؍؍ ✓

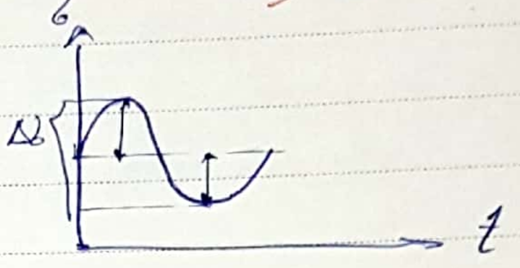
طراحی بر اساس شکست خستگی:
- قطعه بدون ترک ـــ معیار تنش عمر
- قطعه ترک دار ← مکانیک شکست خطی / معیار تنش - عمر

Subject . Year. / Month / Day.

① روش مطالعه شکست خطی:

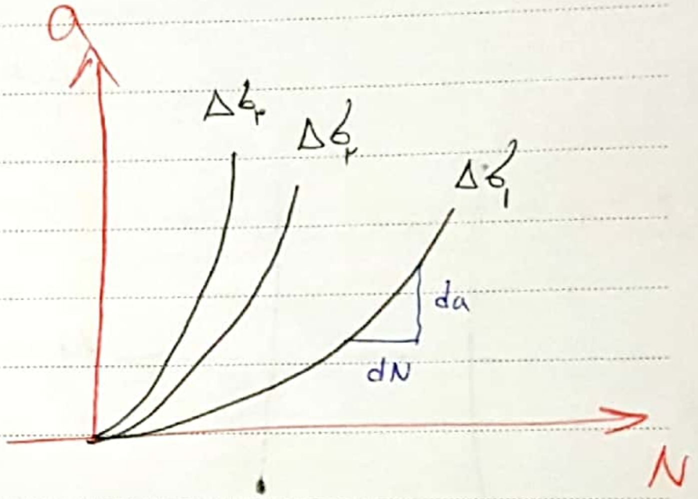
در بارگذاری استاتیکی ⟵ $K_I = \beta \sigma \sqrt{\pi a}$

" " نوسانی ⟵ $\Delta K_I = \beta \Delta \sigma \sqrt{\pi a}$



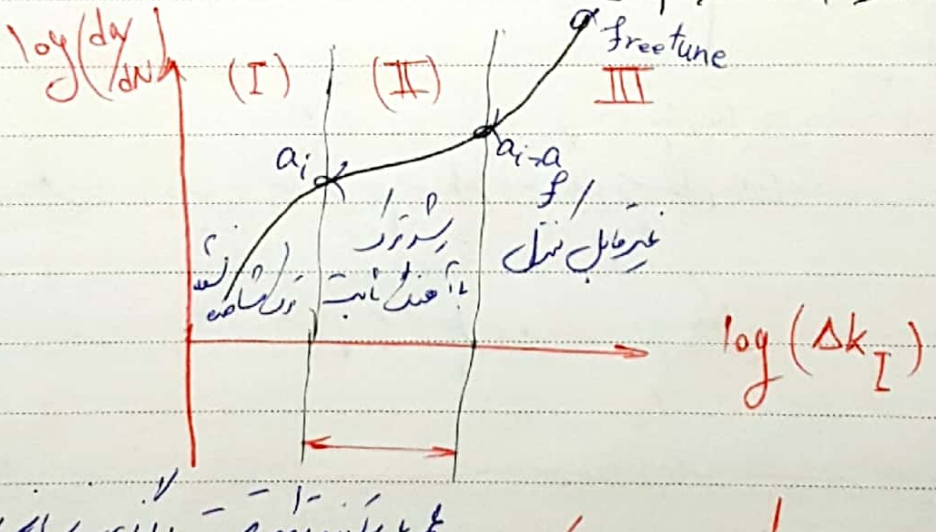
شروع رشد ترک ⟵ $\Delta K_I = \Delta K_{th}$

آستانه شدت تنش جهت رشد ترک



هر چقدر $\Delta \sigma$ بزرگتر باشد، نرخ افزایش رشد ترک da/dN بزرگتر است

$\Delta\sigma_3 > \Delta\sigma_2 > \Delta\sigma_1$



عمر با توجه به تعداد سیکل بارگذاری و سپس از شاخصه رشد

تعیین عمر با توجه به تعداد دور سیکل بارگذاری نوسانی.

$$\frac{da}{dN} = C(\Delta K_I)^m$$

$$\int_0^{N_f} dN = \int_{a_i}^{a_f} \frac{da}{C(\Delta K_I)^m}$$

فرضیات: ترک صفحه‌ای است / ترک در ناحیه II قرار دارد

$$N_f = \int_{a_i}^{a_f} \frac{da}{C(\beta \Delta \sigma \sqrt{\pi a})^m}$$

به دلیل وابستگی β به طول ترک، محاسبه انتگرال چندان ساده نیست

pilavaran

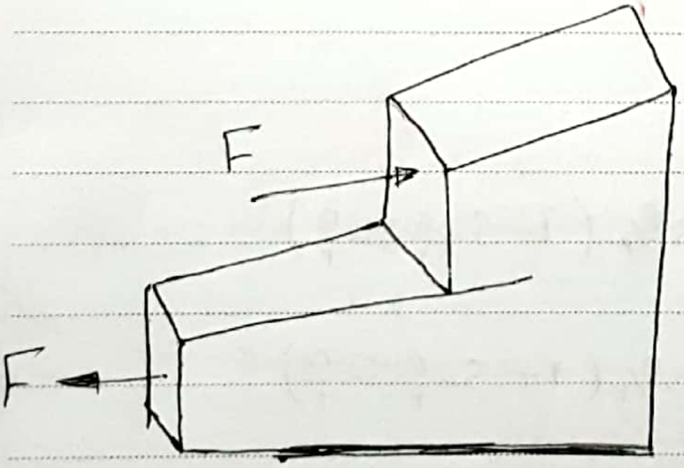
در حالت ۳ تنش بیشترین حالت‌ها را دارد.

مودهای شکست:

مود I

(ترک باز شونده)

قطعه ترک دار کشش

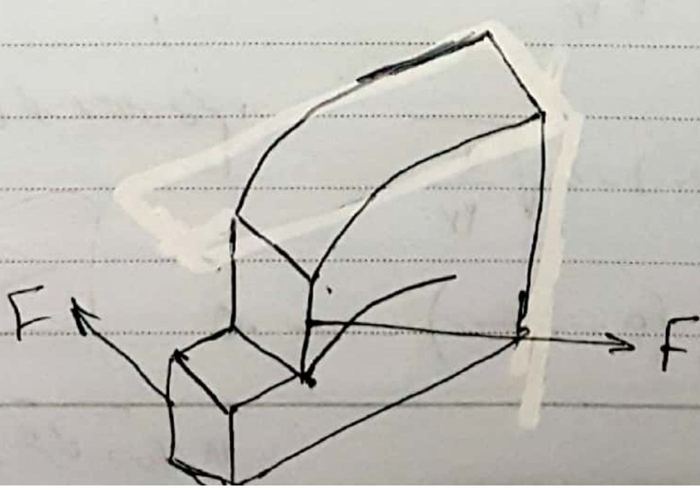


مود II

ترک تحت برش

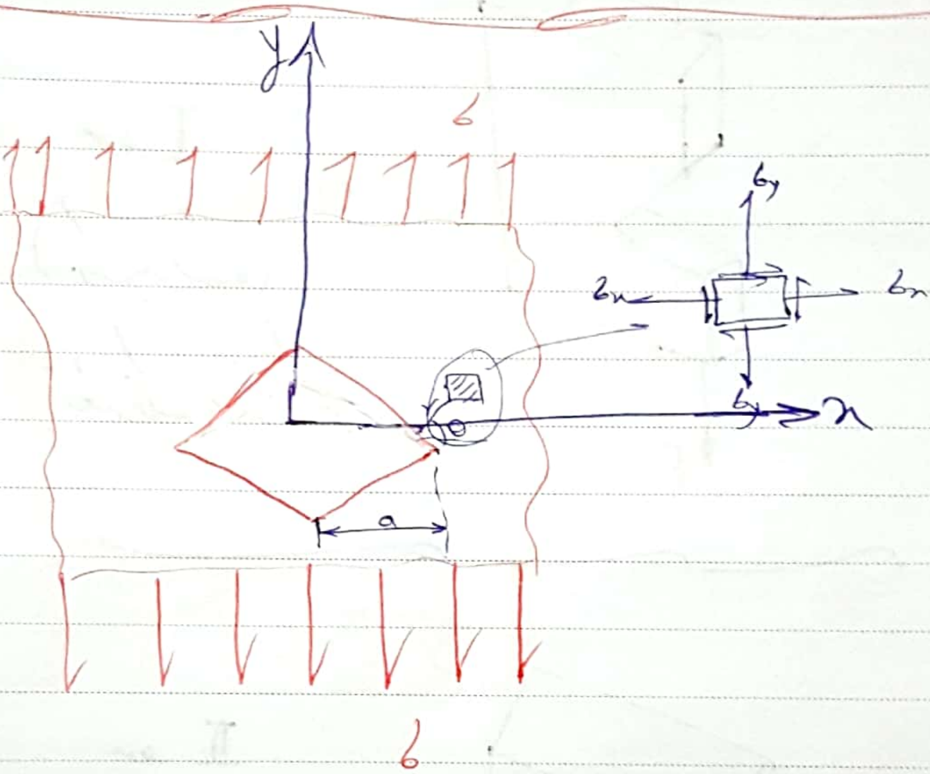
مود III

پارگی ترک



* احتمال شکست در فضا بیشتره بعد ۳ بعد ۲

پس مود I خطرناک‌ترین حالت در رشد ترک است. لذا رفتار ترک در این شرایط بررسی می‌شود.

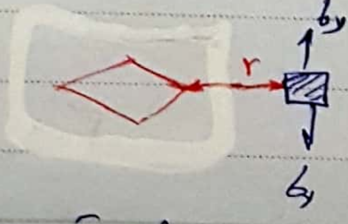


$$\begin{cases} \sigma_x = \sigma\sqrt{\dfrac{a}{2r}}\cos\theta/2\left(1-\sin\dfrac{\theta}{2}\sin\dfrac{3\theta}{2}\right) \\ \sigma_y = \sigma\sqrt{\dfrac{a}{2r}}\cos\theta/2\left(1+\sin\dfrac{\theta}{2}\sin\dfrac{3\theta}{2}\right) \\ \tau_{xy} = \sigma\sqrt{\dfrac{a}{2r}}\times\sin\theta/2\times\cos\theta/2\times\cos 3\theta/2 \end{cases}$$

حال المان را در روی محور x بررسی می‌کنیم:

$$\theta = 0 \longrightarrow \sigma_y(\theta=0) = \sigma\sqrt{\frac{a}{2r}}$$

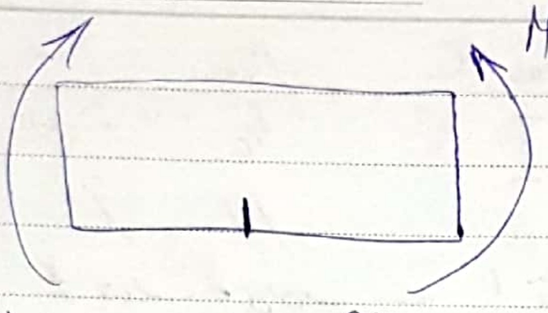
$$r \to 0 \Longrightarrow \sigma_y(\theta=0, r\to 0) \longrightarrow \infty$$

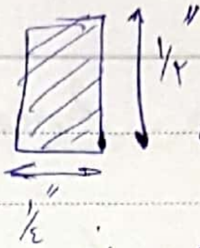


طبق شکل و نمودار بالا:

$$\begin{cases} \theta = 0 \\ \sigma_y\sqrt{2r} = \sigma\sqrt{a} \end{cases}$$

pilavaran





مثال: سطح مقطع مستطیلی

طول اولیه ترک ← طول ۰٫۰۰۴ اینچ

ترک کف خمش قرار داره ($M \leq 1200$ lbf.in) ← به خمش به صورت نوسانی اعمال می‌شود

جنس: فولاد AISI 4430 ←

$S_{ut} = 185$ kpsi

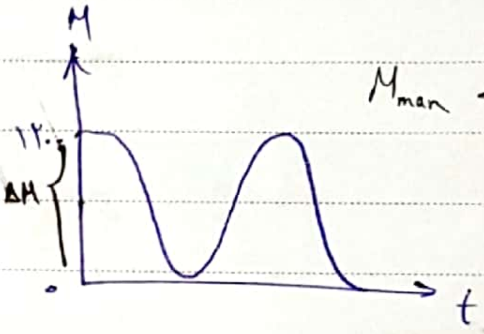
$S_y = 170$ kpsi

$K_{IC} = 73$ kpsi$\sqrt{in}$

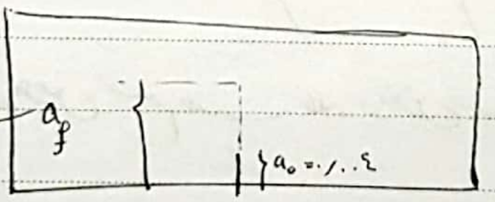
$C = 3.8 \times 10^{-11} \frac{in/cycle}{(kpsi\sqrt{in})^m}$

$m = 3$

$M_{max} \leftarrow 1200$



عمر قطعه از نظر تعداد سیکل شکست چقدر است؟



a_f: عمق ترک در لحظه شکست

ابتدا a_f را محاسبه می‌کنیم:

$K_I = K_{IC}$ ⟶ $\beta\sigma\sqrt{\pi a_f} = K_{IC}$

$\sigma = \frac{MC}{I}$ ⟶ $\left(\Delta\sigma = \frac{\Delta M C}{I} = \frac{\Delta M}{I/c}\right)$

Subject . Year. Month. Day.

$$\Rightarrow \sigma_{max} = \frac{M_{max}\, C}{I} = \frac{M_{max}}{I/C} = \frac{120.0}{0.01042} = 115.2 \ \text{kpsi}$$

* دیدیم که بی‌بعد ← $\beta \simeq 1$ ← با افزایش ترک گاهی بیشتر می‌شود

فرض می‌کنیم: $\beta = 1$

$$\Rightarrow \sigma_{max}\sqrt{\pi a_f} = K_{IC}$$

$$\Rightarrow 115.2\sqrt{\pi a_f} = 73$$

$$\Rightarrow \boxed{a_f = 0.1278 \ \text{in}}$$

* S_y ← ۱۷۰ است و ما ماکزیمم تنشی که پیش داریم داریم ۱۱۵٫۲ است ⇐ مشکلی ندارد (در عمق)

* $\frac{S_y}{S_u} \simeq 1$ ← ماده ترد نزدیک است ← شکست ترد فقط به واسطه رشد ترک

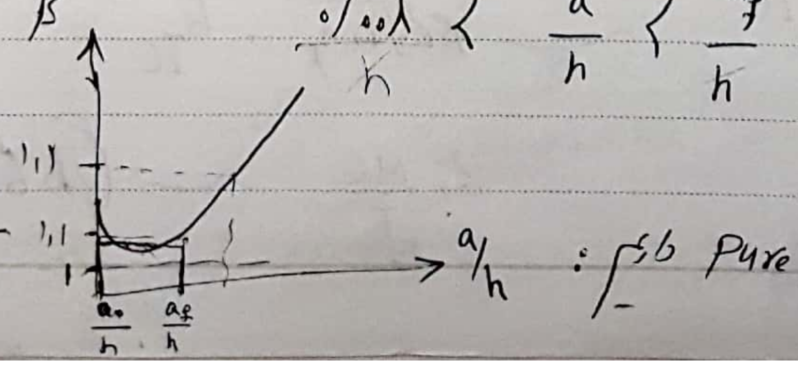
• نقطه در عرض تسلیم نیست بلکه در عرض شکست ترد به واسطه رشد ترک است.

طول اولیه ترک ← $\frac{a_0}{h} = \frac{0.004}{1/2} = 0.008$

عرض سطح مقطع ← h

$$\frac{0.008}{h} < \frac{a}{h} < \frac{a_f}{h} = 0.256$$

$\bar{\beta} \simeq 1.07$



در این حالت Pure bending داریم:

pilgvaran

حالا توی حل مسئله برای بدست آوردن a_f از $\bar{\beta}$ استفاده میکنیم.

$$\beta \neq 1 \longrightarrow \beta = 1.07 \quad \ldots \quad a_f \checkmark$$

$$\longrightarrow a_f = \frac{1}{\pi}\left(\frac{K_{IC}}{\beta\, \sigma_{max}}\right)^2 = \frac{1}{\pi}\left(\frac{73}{(1.07)(115.2)}\right)^2 = 0.112\ m$$

ترک نشده

حالا استفاده از a_i ، a_f و ... :

$$\int_{a_i}^{a_f}$$

از رابطه مربوط : $N_f = \frac{1}{C}\int_{a_i}^{a_f} \frac{da}{(\beta\, \sigma_{max}\sqrt{\pi a})^m}$

($a_f \to 0.112$ ، $C \to 3.8\times10^{-11}$ ، $a_i \to 0.004$ ، $\beta \to 1.07$ ، $\sigma_{max} \to \Delta\sigma$ ، $m \to 3$)

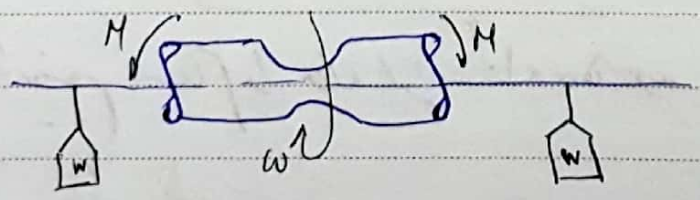
$$\longrightarrow \boxed{N_f = 64.7\times10^{3}\ \text{cycles}}$$

بعد از ۶۴ هزار سیکل دیگر میشکنه

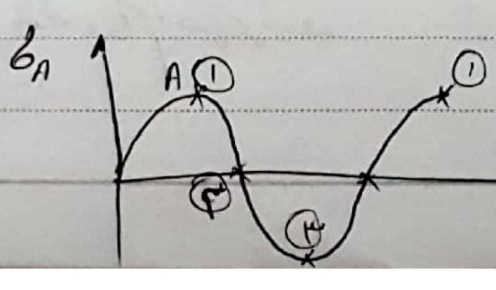
خستگی :

۲. روش تنش - عمر : تست خستگی برای یه جسم کاملاً ماشین کاری شده در سیکل دوار - در دمای محیط

ماشین مور



به دلیل ... تحت خمش است.



خمش کاملاً معکوس شونده

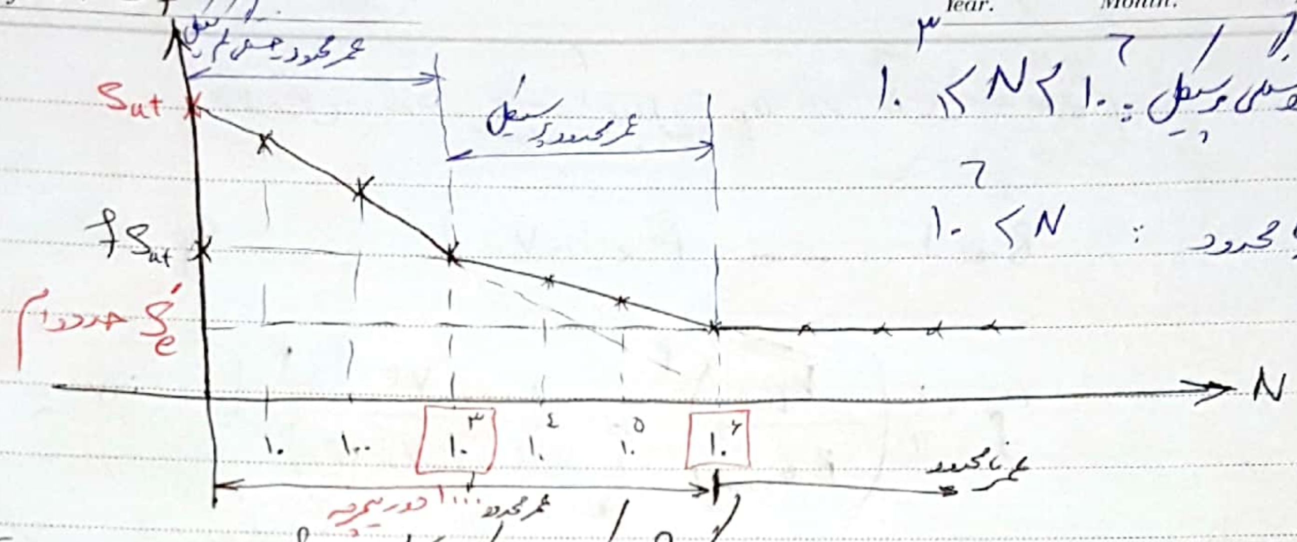
قطعه از جنس فولاد

pilavaran

$N < 10^3$

عمر محدود خستگی پرسیکل : $10^3 < N < 10^6$

عمر نامحدود : $10^6 < N$



ابتدا در نمودار دیم داریم. بعد می‌بینیم بدون هیچ چرخشی شکست به نقطه ایجاد شکست همون S_{ut} است.

به تدریج در نمودار می‌بینیم تنش‌ها رو حساب میکنیم و میبینیم بعد از چند چرخش به شکست میرسیم.

ما در طراحی‌ها معمولاً دوست داریم عمر نامحدود باشیم. (S'_e) حد دوام

در چدن و فولاد خط ما افقی میشه ولی در مس و آلومینیوم این خط (حد دوام) افقی نمیشه.

* حد دوام: میزان سطح تنشی است که در نمودار S-N خط افقی میشه و تنش‌های کاملاً معکوس شونده اعمالی در قطعه اگر کمتر از این مقدار باشد، عمر قطعه نامحدود است.

حد دوام در قطعاتی که خط افقی دارند تعریف میشه (چدن و فولاد)

* در آلومینیوم حد دوام را برای عمر 500×10^6 تعریف میکنند، هر چند در دیاگرام S-N آلومینیوم خط به صورت افقی نمیشه.

Subject .

S_f، استحکام خستگی $N \le 10^3$ اصلا معنی نداره ... یعنی هر ۱۰۰۰ سیکل چهار بار شکست میشه

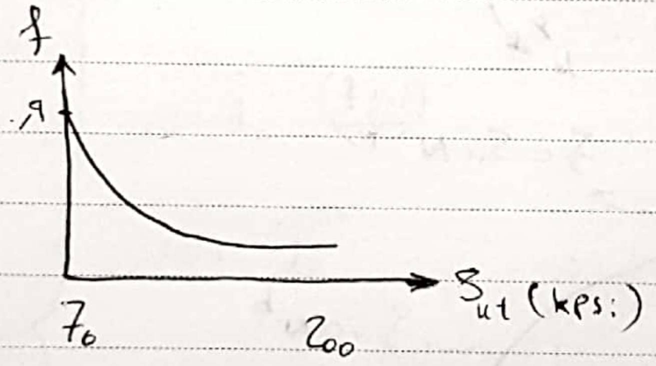
روش عمر خستگی در محدوده عمر محدود

در محدوده $10^3 \le N \le 10^6$: (بین ۲ نقطه، $\left|\begin{matrix}10^6\\ S_e\end{matrix}\right.$ و $\left|\begin{matrix}10^3\\ fS_{ut}\end{matrix}\right.$)

$$S_f = a N^b$$

$$\begin{cases} a = \dfrac{(fS_{ut})^2}{S_e} \\ b = -\dfrac{1}{3}\log\left(\dfrac{fS_{ut}}{S_e}\right) \end{cases}$$

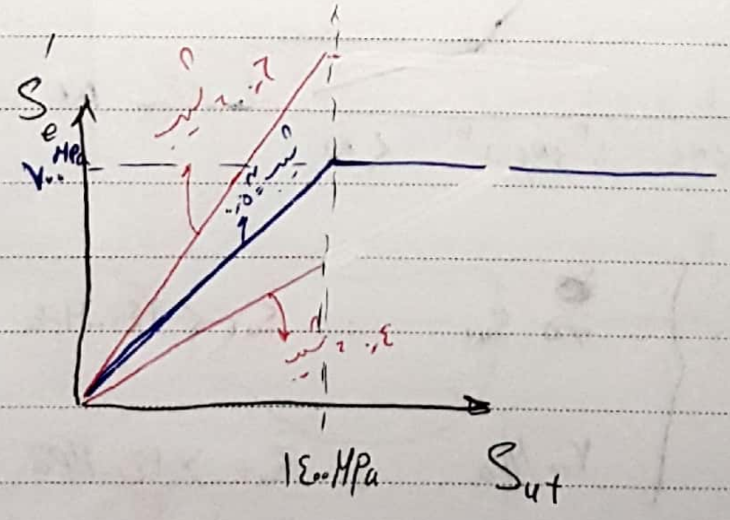
Fig. 7



کاهش S_e :

شرایط آزمایشگاهی

۶۰٪ و ۴۰٪ در آزمایشگاه درست است ولی در رو حصول فرض مهم.



$$S'_e = \begin{cases} 0.5\, S_{ut} & ; \quad S_{ut} \le 1400\ MPa \\ 700\ MPa & ; \quad S_{ut} > 1400\ MPa \end{cases}$$

حدوداً فولادها

pilavaran

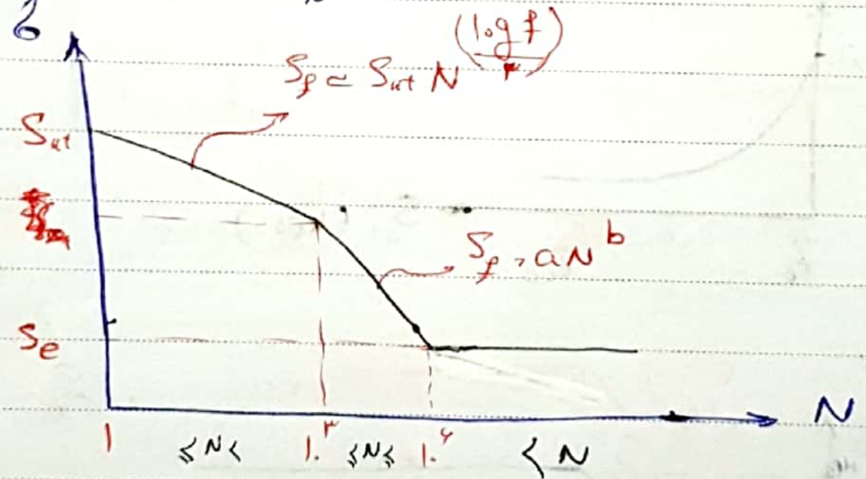
رابطه SAE : محاسبه F

$$F = \frac{\sigma'_F}{S_{ut}} (2 \times 10^3)^b$$

$$\begin{cases} \sigma'_F = S_{ut} + 345\,MPa \\ b = \dfrac{\log(\sigma'_F / S_e)}{\log(2N_e)} \end{cases}$$

$N_e = 10^6$

تنش - عمر :



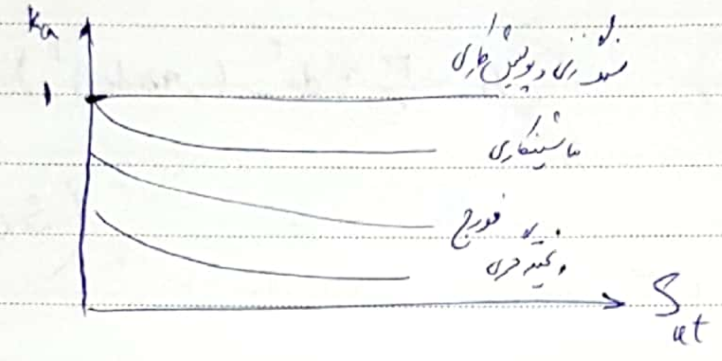
محاسبه دقیق S'_e :

در شرایط آزمایشگاهی : $S'_e = \begin{cases} 0.5\,S_{ut} & ; \; S_{ut} \leq 1400\,MPa \\ 700\,MPa & ; \; S_{ut} > 1400\,MPa \end{cases}$

در واقعیت : $S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e$ → رابطه ماربن

Subject . Year. Month. Day.

ضریب اصلاح سطح : $k_a = a\,S_{ut}^{\,b}$; $a, b \rightarrow$ (جدول 2)



* هرچی S_{ut} بیشتر بشه k_a کمتر میشه

علت ⟵ ماده داره مستحکم‌تر میشه و بیشتر در معرض ترک خوردنه

ضریب اندازه : $k_b = \left(\dfrac{d_e}{7.62}\right)^{-0.107} = 1.24\,d_e^{-0.107}$; $2.79 \le d_e \le 51\,mm$

قطر معادل برای شفت دوار

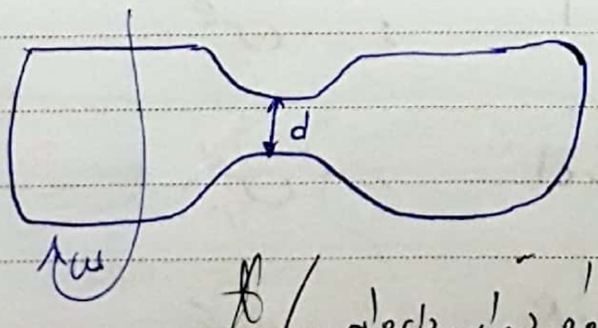
در غیر این صورت از جدول ۳ de را می‌خوانیم.

$1.51\,d_e^{-0.157}$; $51\,mm < d_e < 254\,mm$

(d مربوط هست به قطر بدنه شفت دوار)

(جدول ۳)

$k_b = \begin{cases} 0.879\,d_e^{-0.107} ; & 0.11\,in \le d_e < 2\,in \\ 0.91\,d_e^{-0.157} ; & 2 < d_e \le 10\,in \end{cases}$

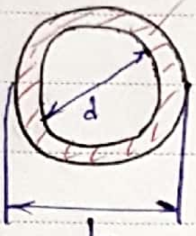


* (بار محوری ⟵ $k_b = 1$) *

* (جدول ٤ رو باید برای سطح دوار داریم.) *

برای محورهای غیرمدور:

ماکزیمم تنش اینجاست (۹۵٪)

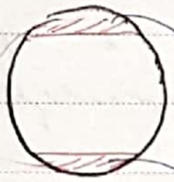


$A = \frac{\pi}{4}\left(d_e^{2} - (0.95\,d_e)^{2}\right)$

(مراجعه به جدول 3)

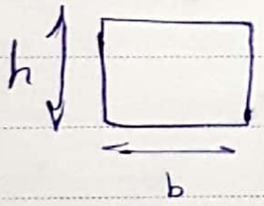
به کشش

ماکزیمم تنش اینجاست A_b



$0.95\,b \rightarrow (d_e = 0.370\,d)$

برای قطعات با سطح مقطع غیر دایره ای: ← (مراجعه به جدول 3)



$d_e = 0.808\sqrt{hb}$ ← (جدول 3)

ضریب بارگذاری : K_c

$K_c = \begin{cases} 1 & \text{خمش} \\ 0.59 & \text{پیچش} \\ 0.85 & \text{محوری} \\ 1 & \text{خمش و پیچش باهم} \end{cases}$

ضریب دما : k_D (جدول ۴)

$$K_D = \frac{S_T}{S_{TR}} \quad (1)$$

* $S'_e = 0.5\, S_{ut}$ —— $S'_{ut} = K_D\, S_{ut}$ (2)

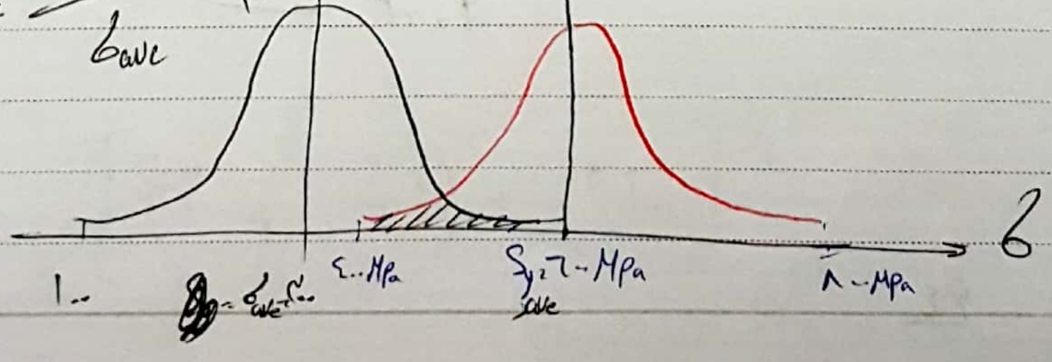
K_D رو بعد از (2) بدست بیاریم تا (1). چون با افزایش دما، S_{ut} هم تغییر میکنه.

$$K_D = \frac{S'_{ut}}{S_{ut}} = \frac{2S'_e}{S_{ut}}$$

قابلیت اطمینان : k_e ⟶ (جدول 5)

k_f : اثرات دیگر ⟶ (فرکانس ، بارگذاری ، خوردگی ، ...)

$n_{S.F} = \frac{S_{y,ave}}{\sigma_{ave}} = \frac{600}{300} = 2$ ⟶ قابلیت اطمینان ⟶ $k_e = 1$



Subject: (ناچ) حساسیت به شیار (با بارگذاری خمشی یا محوری)

ضریب تمرکز تنش در خستگی :

$K_f = 1 + q\,(K_t - 1)$; $0 \le q \le 1$

K_t ← ضریب تمرکز تنش تئوری ≠ خستگی

$K_{f_s} = 1 + q_s\,(K_{t_s} - 1)$; $0 \le q_s \le 1$

K_{t_s} ← ضریب تمرکز تنش تئوری ≠ خستگی

q_s ← حساسیت به شیار (با بارگذاری برشی)

if :

- $q = 0 \longrightarrow K_f = 1$
- $q = 1 \longrightarrow K_f = K_t$

بدترین حالت (حساس‌ترین شرایط به وجود شیار)

- $q \longrightarrow$ Figure 2
- $q_s \longrightarrow$ Figure 3

* در حال چون: در شرایط اطلاعات کم ← $q = 1$

$q = ۰٫۳$

Subject . Year. Month. Day.

* بارگذاری از جنس محوری و پیچشی :

بارگذاری محوری
$$\begin{cases} (\sigma_a)_A = (k_f)_A (\sigma_{a,0})_A \\ (\sigma_m)_A = (k_f)_A (\sigma_{m,0})_A \end{cases}$$
(بدون لحاظ مقطع اثر آن)

بارگذاری خمشی (bending B)
$$\begin{cases} (\sigma_a)_B = (k_f)_B (\sigma_{a,0})_B \\ (\sigma_m)_B = (k_f)_B (\sigma_{m,0})_B \end{cases}$$

بارگذاری پیچشی (t: tortion)
$$\begin{cases} \tau_a = k_{f,s} (\tau_{a,0}) \\ \tau_m = k_{f,s} (\tau_{m,0}) \end{cases}$$

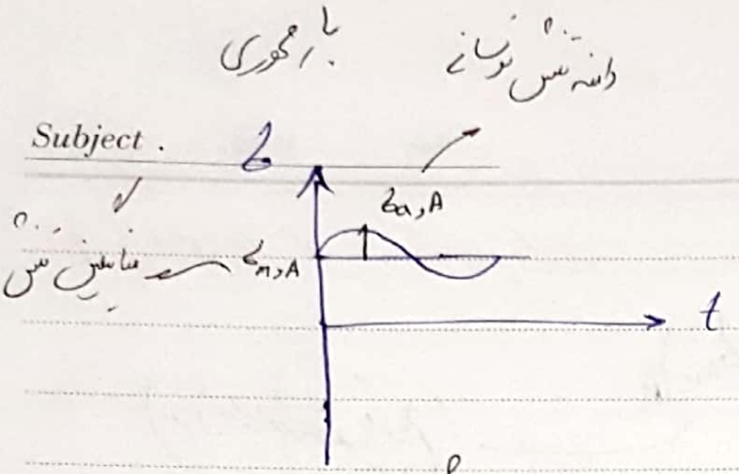
از معیار میزز داریم: $\sigma' = (\sigma^2 + 3\tau^2)^{1/2}$

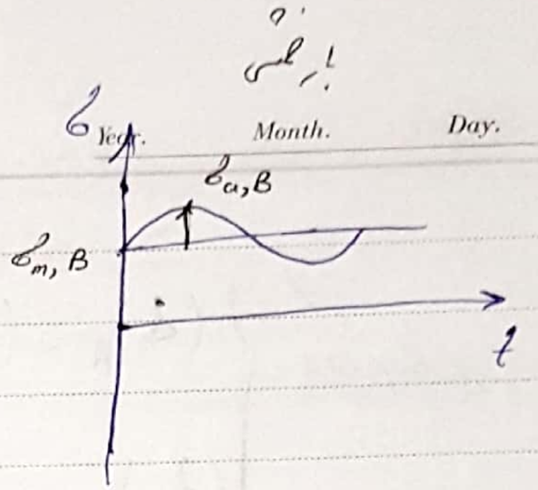
**

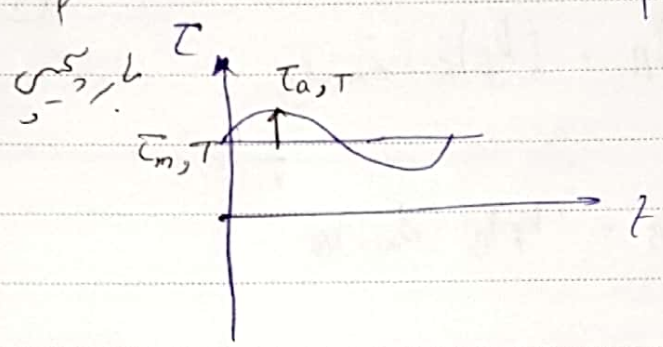
$$\sigma'_a = \left[\left[\frac{(\sigma_a)_A}{0.85} + (\sigma_a)_B \right]^2 + 3 \tau_a^2 \right]^{1/2}$$

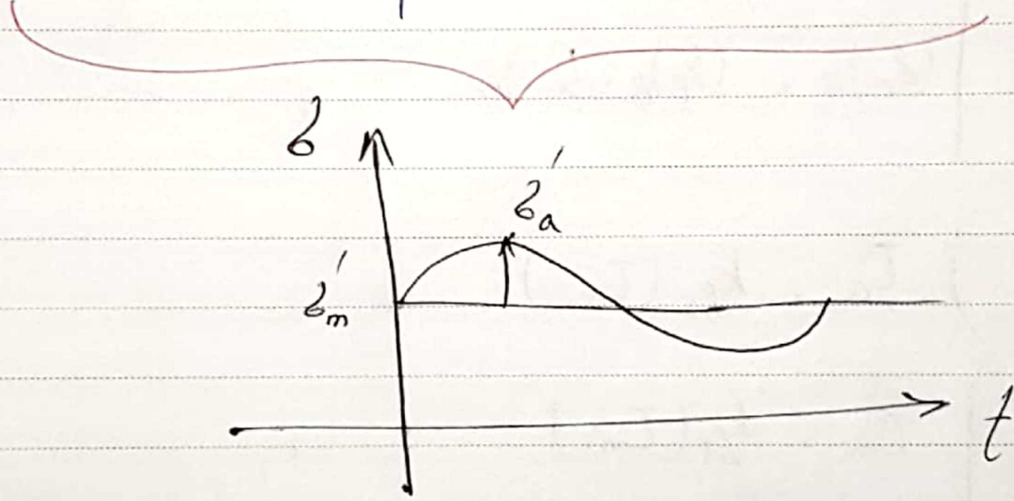
$$\sigma'_m = \left[\left((\sigma_m)_A + (\sigma_m)_B \right)^2 + 3 \tau_m^2 \right]^{1/2}$$

pilavaran





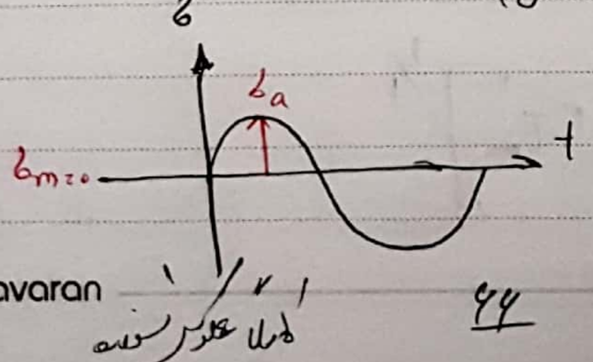


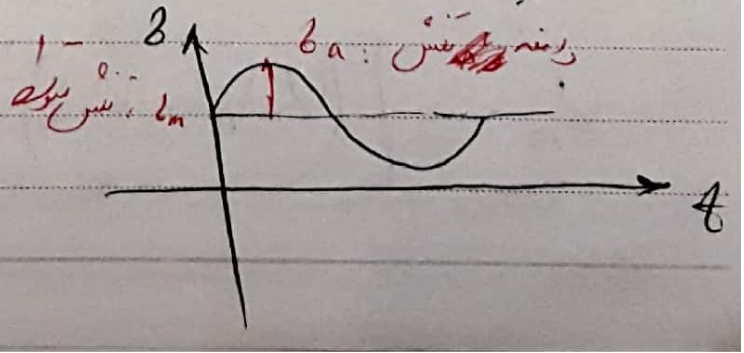


مرور حلبه نشده، (اصلاح سخت خستگی)، همین σ ها معکوس شونده تا سخت کاری

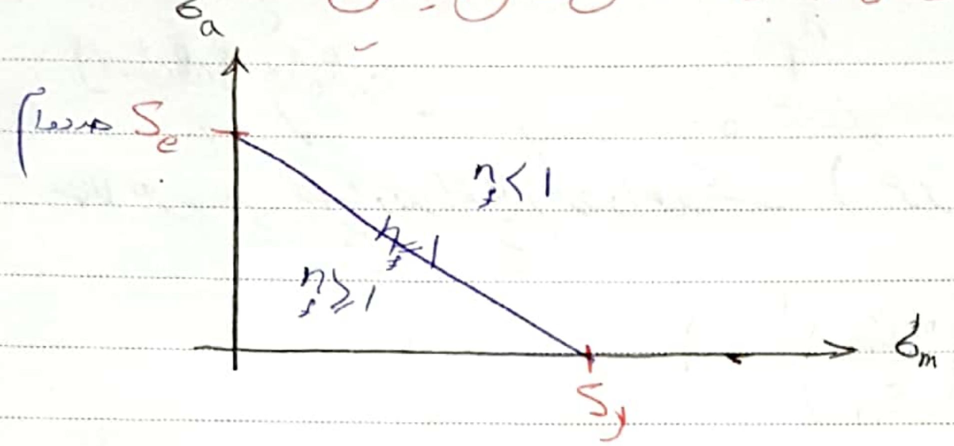
① بارهای ترکیبی { خمش، محوری، پیچشی } ← σ'

② برخی از بارهای نوسانی و ثابت باشند. (واقعی)





معیارهای طراحی در بارگذاری خستگی در حالت داشتن تنش میانگین:



$n_f < 1$ ← عمر محدود

$n_f \geq 1$ ← عمر نامحدود

① سودربرگ (محافظه‌کارانه)

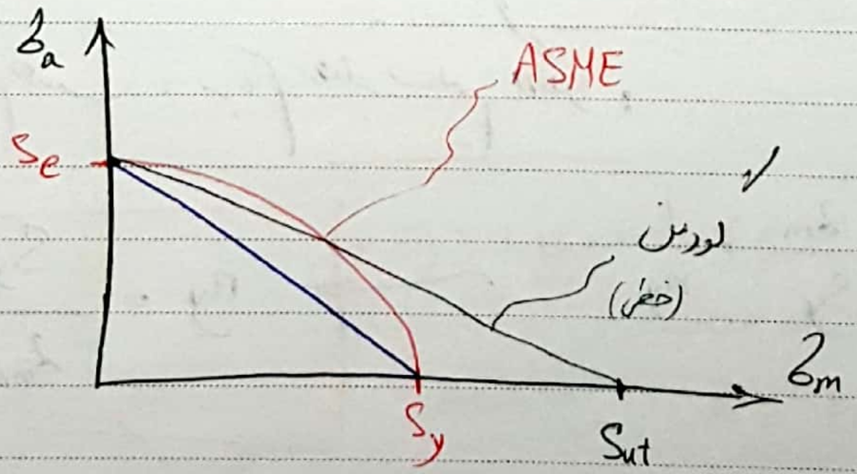
$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_y} = \frac{1}{n_f}$$

اولین نقص سودربرگ خیلی محافظه‌کارانس و باید اصلاح شه:

⇓

معیار ASME رو تعریف کردن:

$$\left(\frac{\sigma_a}{S_e}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_m}{S_y}\right)^2 = \left(\frac{1}{n_f}\right)^2$$



گودمن اومد گفت اینا هر دوش غلطه، چون چیزی که باعث شکست میشه S_y نیست بلکه S_{ut} ـه

Subject . Year. Month. Day.

* رابطه گودمن اصلاح شده

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n_f}$$

خطی

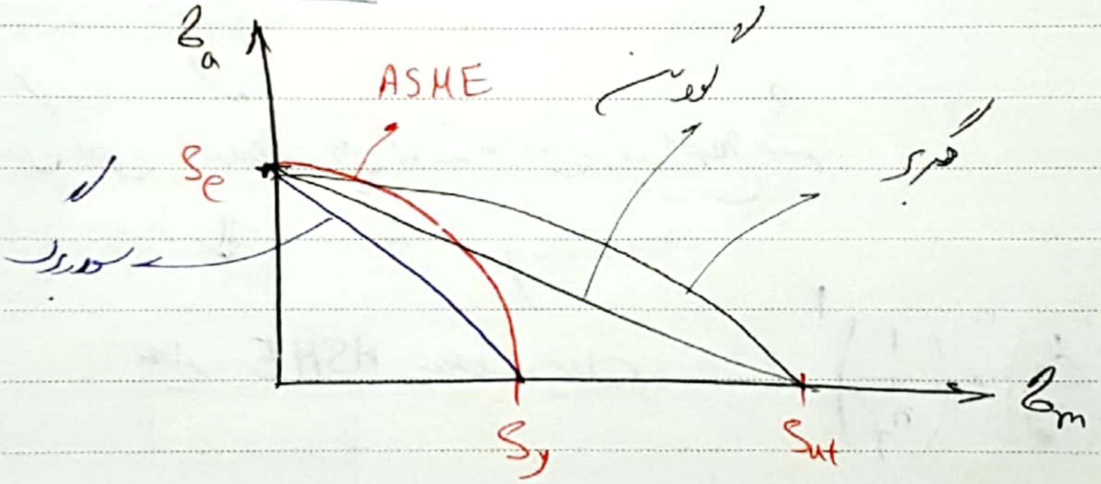
n_f → safety factor

حالا همونو ولی دیگه اومدن اصلاح کردن و سهمی کشیدن. (گربر)

$$\left(\frac{n_f \sigma_a}{S_e}\right) + \left(\frac{n_f \sigma_m}{S_{ut}}\right)^2 = 1$$

درجه ۲

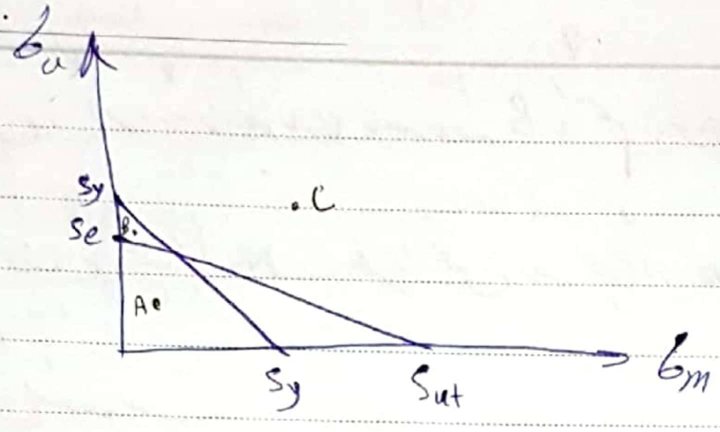
** دقت گربر بالاتر ولی چون می‌خواستن سخت بگیرن ما مهندس‌ها از همون گودمن استفاده میکنیم.



یه معیار دیگه هم هست، به نام معیار تسلیم لانگر:

$$\frac{\sigma_a}{S_y} + \frac{\sigma_m}{S_y} = \frac{1}{n_y} \longrightarrow n_y = \frac{S_y}{\sigma_{max}}$$

Subject .



نقطه کاری .

نقطه A → عمر نامحدود

نقطه B → خسته است ولی تسلیم شده و عمر محدود داره

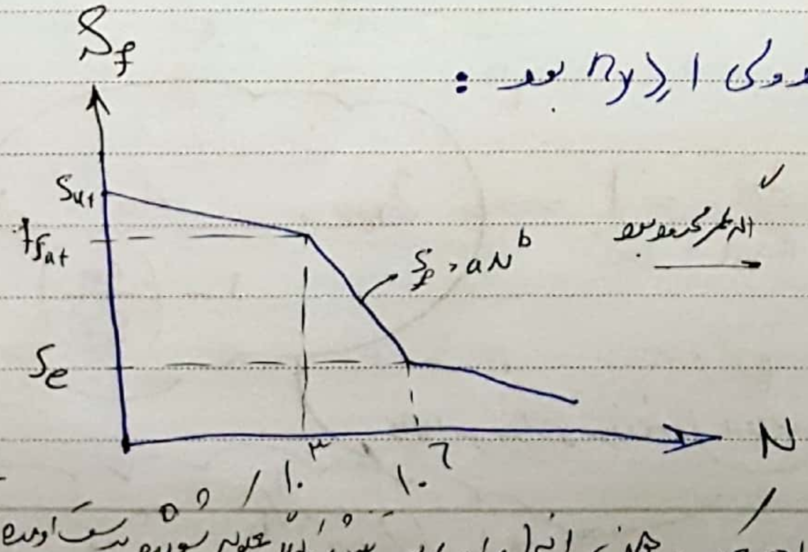
نقطه C → عمر کمتر از یک سیکل است

if $n_f \geq 1$ → عمر نامحدود

if $n_f < 1$ →
- $n_y \geq 1$ → عمر محدود (بیش از یک سیکل)
- $n_y < 1$ → عمر محدود (کمتر از یک سیکل)

** خیلی مهم **

اگر عمر محدود بود و $n_y \geq 1$ بود :



اگر عمر محدود بود →

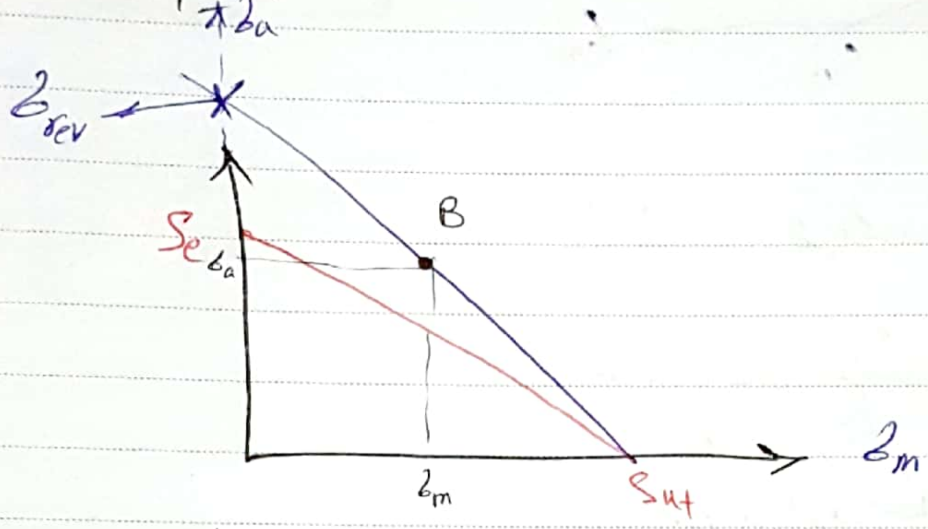
تنش کاملا معکوس شونده

$$N = \left(\frac{\sigma_{rev}}{a}\right)^{1/b}$$

این رابطه رو نمیتونیم برای محاسبه نقطه B عمر استفاده کرد . چون اینجا برای تنش کاملا معکوس شونده بدست اومده

pilavaran

راه حل: اگر در شرایط باری مانند نقطه B باشیم، هرچند در شرایط عمر محدود هستیم اما نمی‌توان از رابطه فوق $N_2\left(\frac{\sigma_{rev}}{a}\right)^{1/b}$، عمر را تخمین زد. چرا که علاوه بر σ_a، σ_m هم داریم یعنی تنش کاملاً معکوس شونده نیست.



راه حل:

از S_{ut} به نقطه B وصل می‌کنیم و آن را ادامه دهید تا محور σ_a را قطع کند.

جایی که محور σ_a را قطع می‌کند، اون تنش کاملاً معکوس شونده (σ_{rev}) است.

اما محاسبه از روی نمودار سخت است.

* طبق رابطه گودمن تغییرات را اعمال می‌کنیم:

گودمن: $\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n_f}$ ($S_e \to \sigma_{rev}$ ، $n_f \to 1$)

$$\Rightarrow \frac{\sigma_a}{\sigma_{rev}} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = 1 \Rightarrow \sigma_{rev} = \frac{\sigma_a}{1 - \left(\frac{\sigma_m}{S_{ut}}\right)}$$

حالا اینو میذاریم تو رابطه‌ای که داشتیم و عمر نقطه B رو تخمین می‌زنیم.

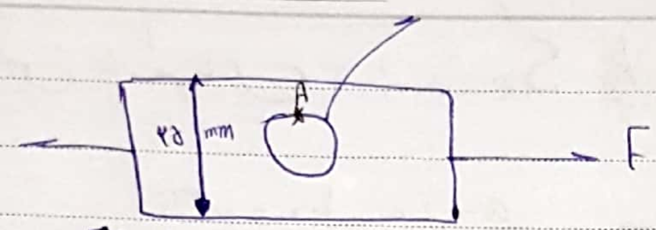
$$N_2\left(\frac{\sigma_{rev}}{a}\right)^{1/b} ; \quad 10^3 \le N \le 10^6$$

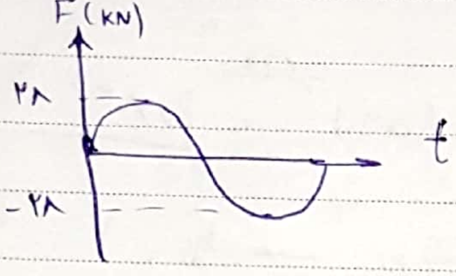
Subject . D = 6mm   Year. Month. Day.

مثال: جنس: فولاد AISI 1040

$S_{ut} = 590\ Mpa$

$S_y = 490\ Mpa$





مطلوب است تعیین عمر قطعه بالا ؟

اول باید ببینیم در حالت تسلیم در چه وضعیتی ام !

در نقطه A تمرکز تنش داریم.

A در : $\sigma = \frac{28\times10^{3}}{(25-6)\times10\times10^{-6}} = \frac{F_{max}}{A}$ → $\sigma_A = 147.4\ MPa$

$n_{s.F} = \frac{S_y}{\sigma_A} = \frac{490}{147.4} > 1$ → تسلیم رخ نمی‌دهد.

ماده فولادی است → نرم است → ضریب تمرکز تنش برابر ۱ است. $k_t = 1$

حالا باید خستگی رو چک کنیم. → (گودمن)

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n_f}$$

$$S'_e = 0.5\, S_{ut} \quad ; \text{if } S_{ut} < 1400\ MPa$$

$\Rightarrow S_{ut} = 590 < 1400 \longrightarrow S'_e = 0.5 \times 590 = 295\ MPa$

pilavaran

طبق رابطه ماراین : $S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e$

ضریب سطح $k_a = a\, S_{ut}^{\,b}$ —Table 2→ $a = ۴٫۵۱$, $b = -۰٫۲۶۵$

$\Longrightarrow k_a = ۴٫۵۱ \times (۵۹۰)^{-۰٫۲۶۵} = ۰٫۸۳۲$

ضریب اندازه $k_b = ?$ → چون نیرو محوری اعمال شده → $k_b = ۱$

بار $k_c = ۰٫۸۵$ (بار محوری)

دما $k_d = ۱$, تاثیر اطمینان $k_e = ۱$, سایر موارد $k_f = ۱$

$\Longrightarrow S_e = ۰٫۸۳۲ \times ۱ \times ۰٫۸۵ \times ۱ \times ۱ \times ۱ \times ۲۹۵ = ۲۰۸٫۶\ MPa$

$\sigma_a = k_f\, \sigma_A = k_F \dfrac{F_{max}}{A}$

k_f —figure A-1 (ضریب تمرکز تنش)→ $\dfrac{d}{w} = ۰٫۲۴$ → $k_t = ۲٫۴۴$

$\Longrightarrow k_f = 1 + q\,(k_t - 1)$

$q = ?$ —جدول ۴k / Figure2→ $r = ۳mm$ شعاع ناچ ، $S_{ut} = ۵۹۰\ MPa$ } —Figure2→ $q = ۰٫۸۳$

$\Longrightarrow k_f = ۱ + ۰٫۸۳\,(۲٫۴۴ - ۱) = ۲٫۲$

pilavaran

$\Rightarrow \sigma_a = ۲,۲\ \sigma_A = ۲,۲ \times ۱۴۷,۴ \Rightarrow \boxed{\sigma_a = ۳۲۴,۲\ MPa}$

$\sigma_m = ۰$

گودمن

$\Rightarrow \frac{۳۲۴,۲}{۲۰۸,۶} + \frac{۰}{۵۹۰} = \frac{۱}{n_f}$

$\Rightarrow n_f = \frac{۲۰۸,۶}{۳۲۴,۲} = ۰,۶۴ < ۱$

$\Downarrow$

عمر کمتر از ده ولی چون اگر $n_y > ۱$ بود $\Rightarrow$ عمر محدود

پس σ_a معکوس شده است.

عمر محدود $\Rightarrow N = \left(\frac{\sigma_{rev}}{a}\right)^{1/b}$

$\rightarrow a = \frac{(f S_{ut})^2}{S_e}$ (f = ۰,۸۷، S_{ut} = ۵۹۰، S_e = ۲۰۸,۶)

$\rightarrow b = -\frac{1}{۳} \log\left(\frac{f S_{ut}}{S_e}\right)$ (f = ۰,۸۷، S_{ut} = ۵۹۰، S_e = ۲۰۸,۶)

$a = ۱۲۶۳$

$b = -۰,۱۳۰۴$

نکته: $1 MPa = ۶,۹\ kpsi$

Figure 6 از $\rightarrow S_{ut} = \frac{۵۹۰\ MPa}{۶,۹} = ۸۵,۶\ kpsi$

از ۶,۹ $\Rightarrow f = ۰,۸۷$

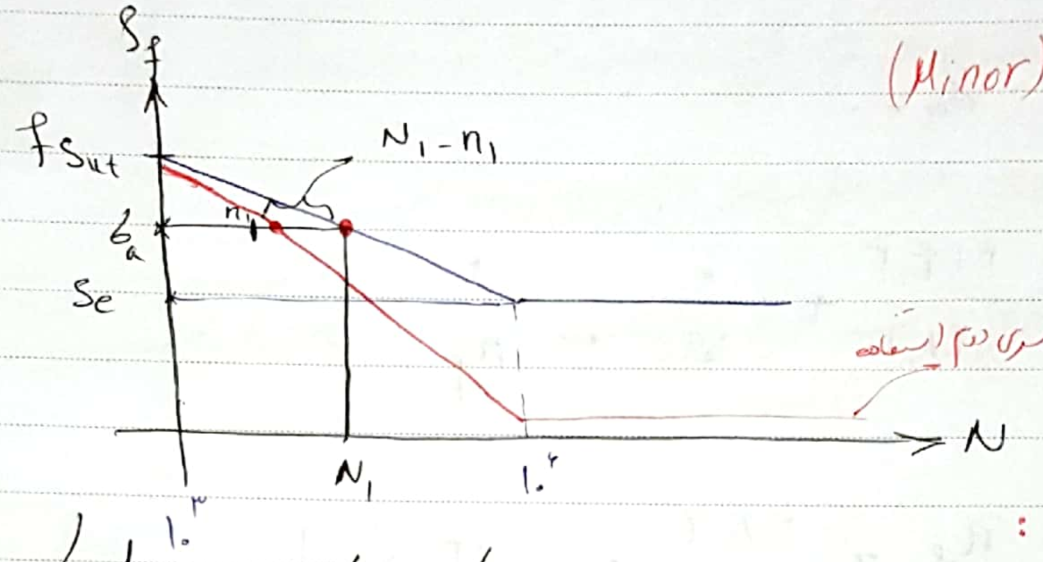
V۳ $N = \left(\frac{۳۲۴,۲}{۱۲۶۳}\right)^{\frac{-1}{۰,۱۳۰۴}} = \boxed{۳۴ \times ۱۰^{۳}\ cycle}$ ✓

pilavaran

Subject . Year. Month. Day.

جمع آثار خستگی :

* معیار ماینر (Minor)



تحت بار σ_1 :

عمر کل ← N_1

عمر مورد استفاده ← n_1

تحت بار σ_2 :

عمر کل ← N_2

عمر مورد استفاده ← n_2

⋮

تحت بار σ_n :

عمر کل ← N_n

عمر مورد استفاده ← n_n

هر بارگذاری به کسری از عمر رو کم میکند

$$\frac{n_n}{N_n} = \cdots = \frac{n_2}{N_2} = \frac{n_1}{N_1}$$

درصد خرابی ایجاد شده به واسطه بارگذاری مربوطه

مثلا محققین این نسبت برای فولادی ۰٫۷ تا ۲٫۲ است. ($0.7 < C < 2.2$)

رابطه ماینر $\Rightarrow \sum_{i=1}^{m} \frac{n_i}{N_i} = C$

$$\sum_{i=1}^{m} \frac{n_i}{N_i} = 1$$

برای فولاد : $0.7 < C < 2.2$

ایرادهای مدل ماینر:

۱) در عمر محدود حساسیتی کم سیکل در واقعیت در واسطه بارگذاری متغیر، استحکام از fS_{ut} افت محسوسی ندارد، در حالیکه مدل ماینر قائل به این افت است.

۲) مدل ماینر ترتیب بارگذاری را رعایت نمی‌کند که با تجربه ناسازگار است.

مثال: قطعه ای با مشخصات زیر: $S_{ut}=800\,MPa$, $S_e=300\,MPa$

تحت بار کاملاً معکوس شونده $\sigma_1=400\,MPa$ با فرکانس بارگذاری ۱۰۰ بار در دقیقه، پس یک روز کاری ۸ ساعته، بار به سطح $\sigma_2=350\,MPa$ تغییر می‌کند. عمر باقیمانده قطعه تحت این بار جدید چقدر خواهد بود؟

حل: توضیح:

بارگذاری معکوس شونده

$$\frac{\sigma_a}{S_e}+\frac{\sigma_m}{S_{ut}}=\frac{1}{n}$$

$$\rightarrow n=\frac{S_e}{\sigma_{a_1}}=\frac{300}{400}<1 \Rightarrow$$ عمر محدود است

تخمین عمر محدود:

$$N_1=\left(\frac{\sigma_{a_1}}{a}\right)^{1/b}$$

$$a=\frac{(fS_{ut})^2}{S_e}=\frac{(0.9\times 800)^2}{300}=1728\,MPa$$

$$b=-\frac{1}{3}\log\left(\frac{fS_{ut}}{S_e}\right)=-\frac{1}{3}\log\left(\frac{0.9\times 800}{300}\right)=-0.127$$

$$N_1=\left(\frac{400}{1728}\right)^{-\frac{1}{0.127}}=\underline{102\times 10^3}\ \text{cycles}$$

محاسبه n_1 (میزان دور استفاده شده از قطعه تحت بار σ_{a_1})

$n_1 = 8 \times 6 \times 100 = 48\times10^3$ cycles ← میزان دور استفاده شده

کسر استفاده شده $= \frac{n_1}{N_1} = \frac{48\times10^3}{10.2\times10^4} \simeq \%49$

* تعیین عمر کل اگر بارگذاری فقط براساس σ_{a_2} بود:

$\longrightarrow N_2 = \left(\frac{\sigma_{a_2}}{a}\right)^{1/b} = \left(\frac{350}{1740}\right)^{-\frac{1}{0.142}} = 296\times10^3$ cycles

روش ماینر: عمرهای استفاده شده تقسیم بر کل برابر با ۱

$\sum_{i=1}^{n}\frac{n_i}{N_i}=1 \longrightarrow \frac{n_1}{N_1}+\frac{n_2}{N_2}=1$

$\longrightarrow \frac{48\times10^3}{10.2\times10^3}+\frac{n_2}{296\times10^3}=1 \longrightarrow n_2 = 157\times10^3$ cycles

این قطعه الان 157×10^3 سیکل دیگر کار می‌کند، مستهلک!!

* اگر σ_{a_2} می‌رسید = ۳۵۰ ← ($350 < S_e$) ← $n_2 \geq 1$ مشخص عمر نامحدود می‌شد ($S_e = 250$)

* اگه بارگذاری ای که عمرش نامحدود است، خستگی برایش تعریف نمیشد

* اگر بواسطه اعمال بار ← σ ← ضریب اطمینان خستگی بیشتر از یک شد ($n_f \geq 1$)

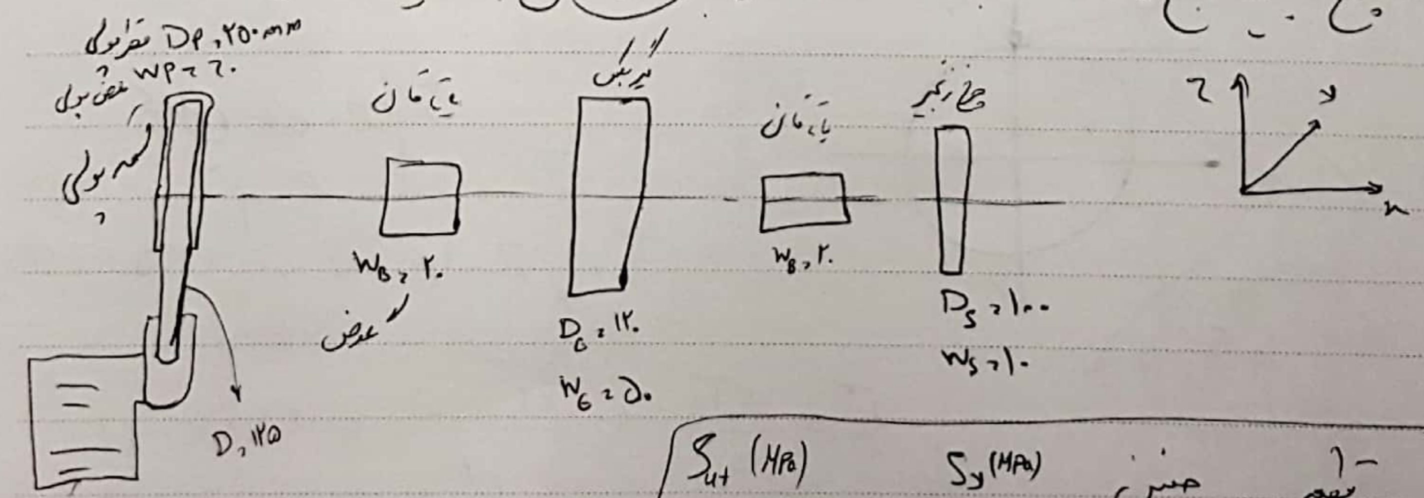
← (عمر نامحدود شد) ⇐ در رابطه ماینر N مربوطه آن بی‌نهایت می‌گیرد.

$\frac{n_1}{N_1}+\frac{n_2}{N_2}+\frac{n_3}{N_3}=1$ ← در خستگی اثر ندارد. — ∞ $\longrightarrow \frac{n_3}{\infty}=0 \Rightarrow \frac{n_1}{N_1}+\frac{n_2}{N_2}=1$

ضریب اطمینان شفت :

نوع بارگذاری	ضریب اطمینان	کاربرد
بار پیچشی یکنواخت	1,5	موتور، هواکش، پروانه
" " با ضربات ملایم	۲ _ ۲,۵	چرخ زنی، همگن گیری، ماشین آلات ریسندگی و بافندگی
" " " شدید	۳ _ ٤,۵	سنگ شکن، ماشین ابزار

مثال : در یک ماشین ابزار، توان از طریق یک الکتروموتور [illegible] با توان 11kW و دور ورودی 1450 rpm از طریق تسمه و پولی با نسبت 1:2 به شفت تحویل می‌گردد. ۶۰ درصد توان ماکزیمم ورودی به صورت یکنواخت از چرخ‌دنده ساده با زاویه فشار ۲۰ درجه خارج می‌شود. ٤۰ درصد توان ماکزیمم ورودی، به صورت نوسانی و با ضربه ۲ دقیقه از چرخ زنجیر خارج می‌گردد. مطلوب است طراحی شفت برای عمر ۱۰ سال با حدود شیفت کاری ۸ ساعته



قطعه	جنس	S_y (MPa)	S_{ut} (MPa)
پولی	AL Alloy	۱۰۰	۱۸۰
چرخ‌دنده	VCL 140	۵۵۰	۸۰۰
شفت	Ck45	۳۷۰	۶۳۰

حل:

مرحله ۱ . محاسبه گشتاورها و نیروها (چرخدنده پولی و چرخ زنجیر)

$$T_p = \frac{P}{\omega} = \frac{11000}{(720)\times\left(\frac{2\pi}{60}\right)} = 145.9\ N.m$$

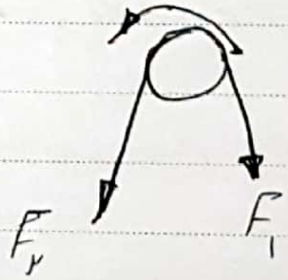
$720 = \frac{1440}{2}$ که دور برابر است

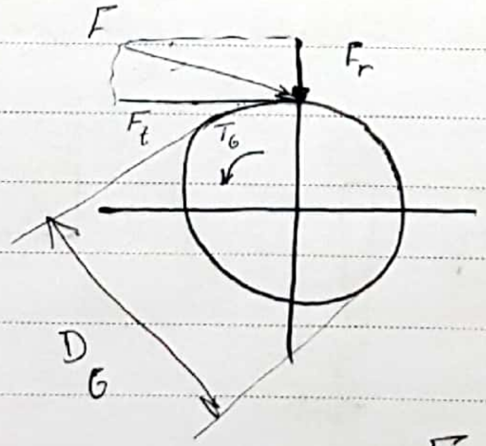
ماکزیمم گشتاور ورودی

انتقال گشتاور ماکزیمم T_p:

$$F_p = F_1 \ , \ F_2 \simeq 0$$

$$F_p = \frac{2T_p}{D_p} = \frac{2(145.9)}{0.25} = 1167(-\hat{k})$$





تحلیل نیروی در چرخدنده:

$$T_G = 0.6\ T_p = 0.6 \times 145.9 = 87.5\ N.m$$

$$F_t = \frac{2T_G}{D_G} = \frac{2(87.5)}{0.12} = 1458(-\hat{j})$$

$$\frac{F_r}{F_t} = \tan\varphi$$

$$F_r = 1458 \tan 20^\circ = 530.8\ N(-\hat{k})$$

۲۰ درصد گشتاور ورودی

Subject . Year. Month. Day.

چرخ زنجیر:

$T_{s_{max}} = ۰٫۴\,T_p = ۵۸٫۴\,N.m$

$T_{s_{min}} = ۰$

(متوسط) $T_{s_m} = \frac{۵۸٫۴}{۲} = \frac{T_{s_{max}} + T_{s_{min}}}{۲}\ (N.m)$

(دامنه) $T_{s_a} = \frac{۵۸٫۴}{۲} = \frac{T_{s_{max}} - T_{s_{min}}}{۲}\ (N.m)$

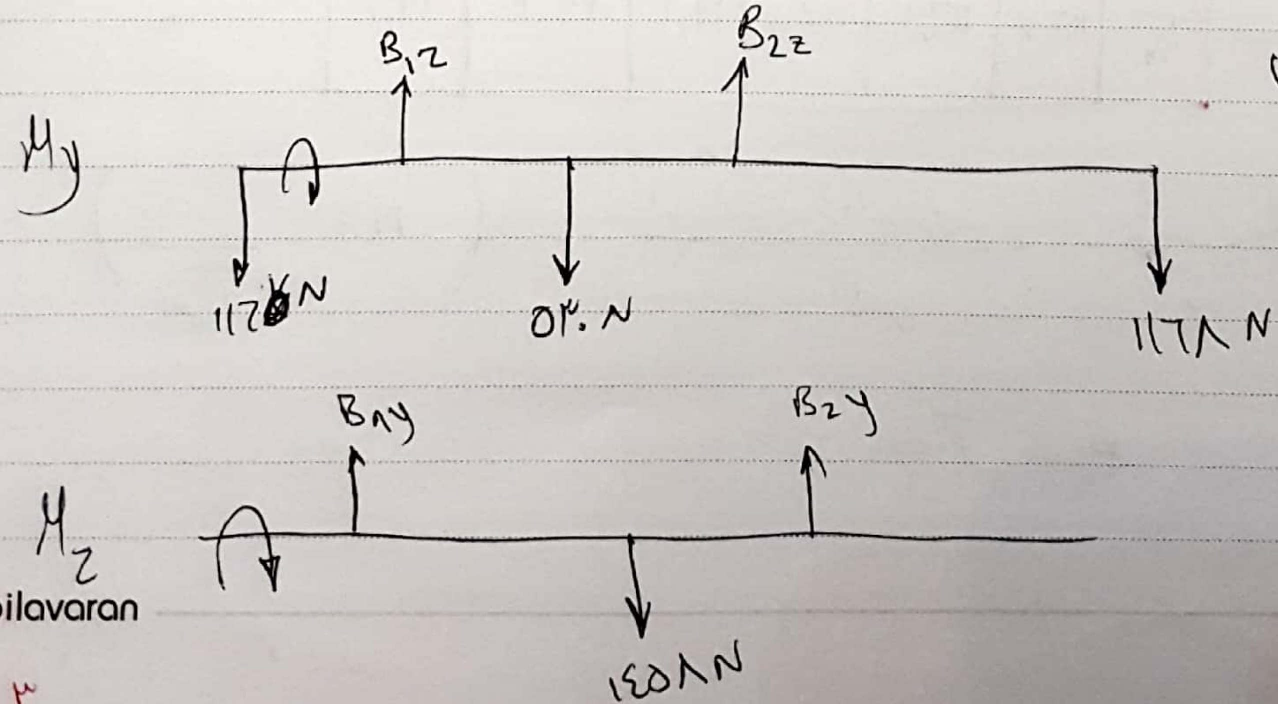
عکس العمل های یاتاقان ها:

$\sum F_y = 0,\ \sum F_z = 0,\ \sum M_y = 0,\ \sum M_z = 0$

با حل دستگاه ۴ معادله ۴ مجهول

$B_{1z} = ۱۲۰۵,\ B_{1y} = ۷۷۸\,N$

$B_{2z} = ۱۲۲۰,\ B_{2y} = ۶۸۰\,N$

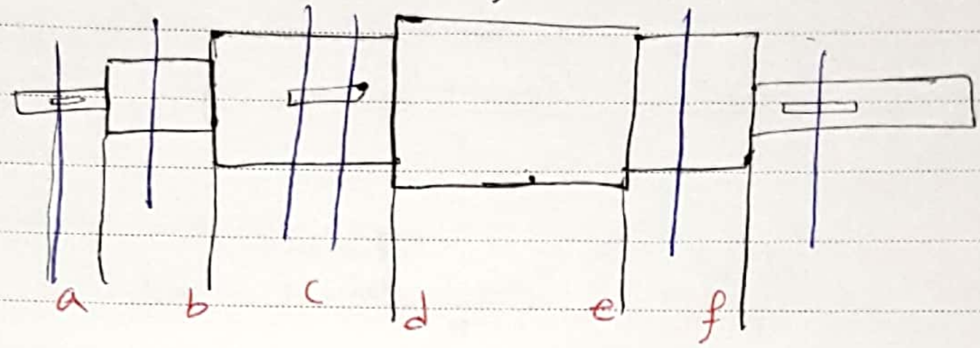


$M = \sqrt{M_y^2 + M_z^2}$

Subject . Year. / Month. Day.

در شفت که ۲ حرکت معکوس شونده هستند، ۲ جزء حالت ادغام است به مانعی در شفت باشه

مثلا یه چیزی جدا از شفت، با شفت بچرخه.



	a	b	c	d	e	f
M_a	۳۵	۶۶	۶۷,۱	۵۵,۵	۴۶,۲	۵,۸
M_m	۰	۰	۰	۰	۰	۰
دامنه T_a	۲۹,۲	۲۹,۲	۲۹,۲	۲۹,۲	۲۹,۲	۲۹,۲
متوسط T_m	۱۱۶,۷	۱۱۶,۷	۱۱۶,۷	۲۹,۲	۲۹,۲	۲۹,۲

$T_{max} =$ ۱۴۵,۹ N.m

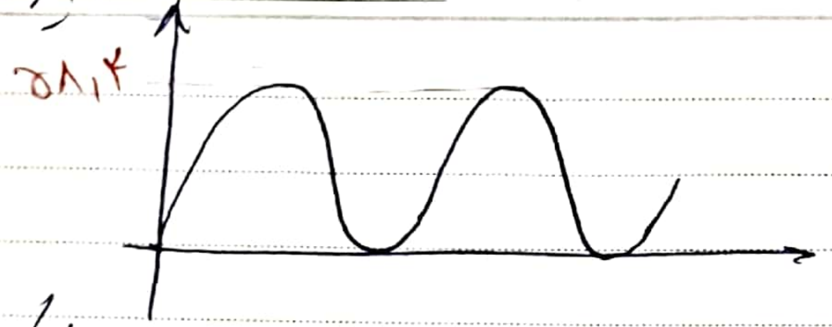
ضریب راه‌اندازی = گشتاور راه‌اندازی / ـــ نامی

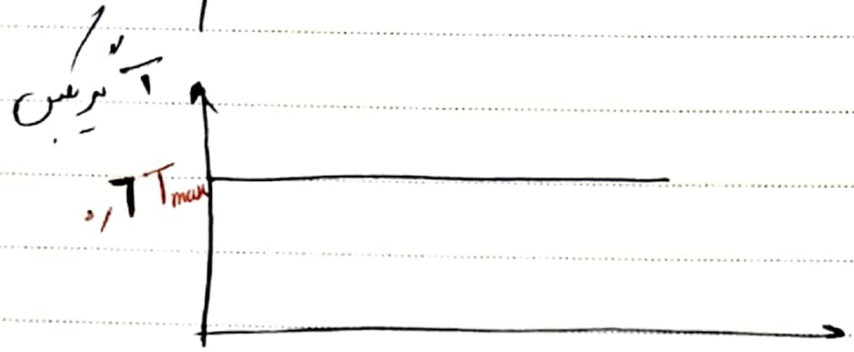
$\left(n = \dfrac{T_{\text{راه‌اندازی}}}{T_{\text{نامی}}} \right)$

$P_e = T\omega$

pilavaran

Subject. Year. Month. Day.



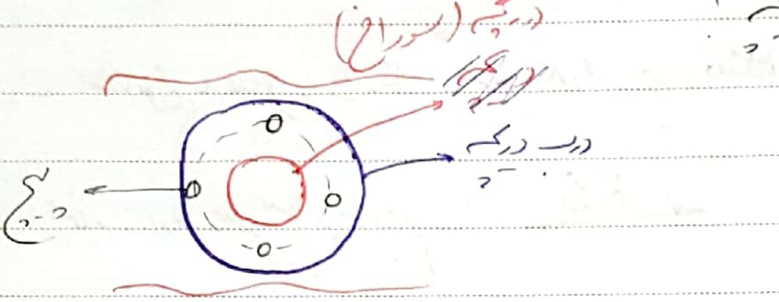


Subject . Year. ۹۰ Month. ۱ Day. ۴

مثال: یک مخزن تحت فشار $P_0 = 12.7\,MPa$ است. این مخزن دارای دریچه‌ای مدور به قطر $100\,mm$ است.

قرار است این دریچه با ورقی به ضخامت $15\,mm$ ($\frac{1}{2}$ ضخامت مخزن) و جنس فولاد $E = 207\,GPa$ طراحی شود.

طراحی اتصالات پیچ این دریچه؟

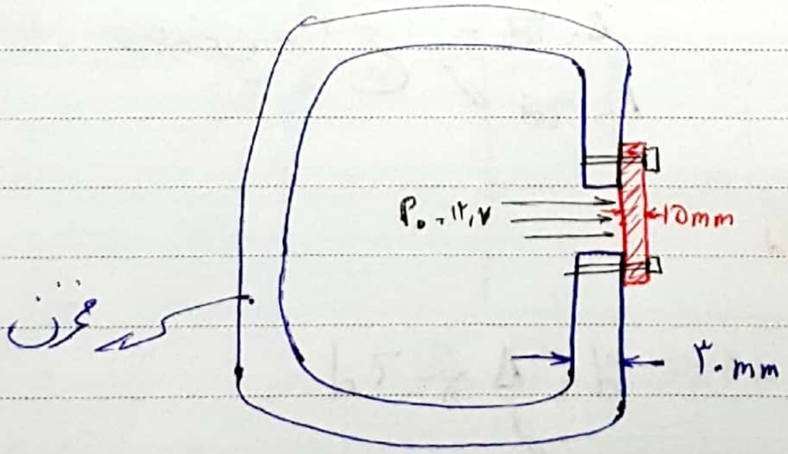


حل:

$P_0 = 12.7\,MPa$

نیروی اعمالی از سمت مخزن ← $P_{total} = P_0 \times \frac{\pi d^2}{4} = 12.7 \times 10^6 \times \frac{\pi \times (100 \times 10^{-3})^2}{4}$ (A دریچه)

$P_{total} = 99745\,N \cong 10^5\,N$



به دلیل حساسیت کاربرد، $n_{l.F} = 5$ ضریب بار

$P_{ext,t} = n_{l.F} \times P_{total} = 5 \times 10^5\,N$

انتخاب جنس پیچ : — جدول F.5 — کاربرد (حالت) — گرید ۸٫۸ ✓

انتخاب قطر پیچ : به دلیل اینکه ضخامت درپوش دریچه ۱۵ mm است، پیچی با همین اندازه انتخاب کنیم

مطابق با جدول F.5 ، گرید ۸٫۸ پیچ، M16 را شامل است. لذا M16 را به عنوان انتخاب اولیه قطر پیچ می‌پذیریم

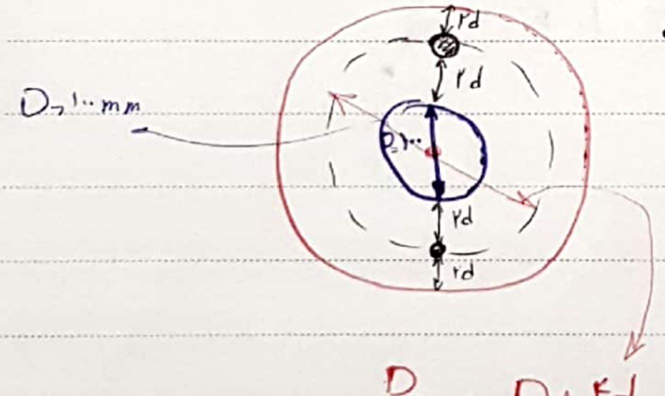
$S_p = 600\ MPa$ ⟵ F.5

در انتخاب تعداد پیچ، معمولاً ۲ نوع ملاحظات وجود دارد.

۱) ملاحظات آب‌بندی

۲) ملاحظات استحکامی

۱) ملاحظات آب‌بندی : قطر پیچ : d



$D_m = D + 4d$

فاصله بین هر ۲ پیچ ⟵ $\Delta = 3d$ ، $\Delta = 6d$

$3d \leq \Delta \leq 6d$

فاصله بین دو پیچ

$$\Rightarrow 3d \leq \frac{\pi D_m}{N} \leq 6d$$

N ⟵ تعداد پیچ

Subject . Year. Month. Day.

$$\Rightarrow \frac{\pi(D+4d)}{6d} \leqslant N \leqslant \frac{\pi(D+4d)}{3d}$$

$D=100\,mm$

$d=14\,mm$

} جایگذاری

$$5{,}4 \leqslant N \leqslant 10{,}7$$

تعداد پیچ‌ها

الزام آب بندی

با ۶ رو انتخاب می‌کنیم (نمی‌خواهیم تعداد پیچ‌ها خیلی زیاد شه)

پس ما الان ۶ تا پیچ M16 لازم داریم.

حال باید ملاحظات استحکامی هم بررسی کنیم.

۲, ملاحظات استحکامی.

$$\left(F_b = F_i + C\,P_{ext}\right); \quad P_{ext} = \frac{P_{ext,t}}{N} = \frac{50\times10^5}{6}$$

F_b: نیروی وارد بر پیچ (بار خارجی)

F_i: پیش بار

C: سختی اتصال

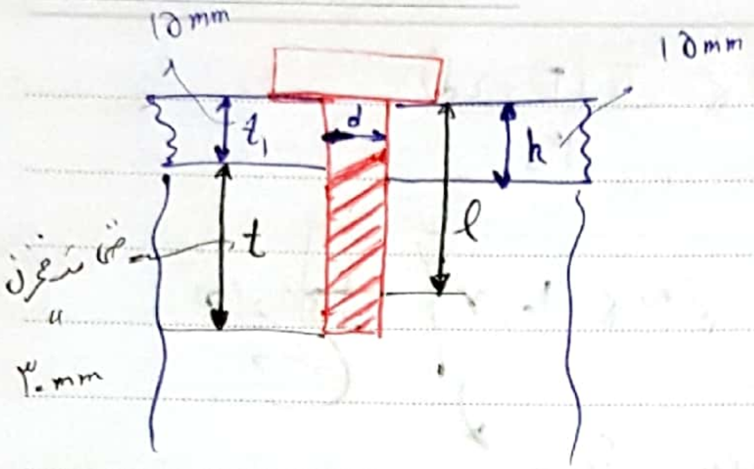
$$F_i = \begin{cases} 0{,}75 \times A_t S_p & ; \text{موقت} \quad \text{در اینجا} \checkmark \\ 0{,}9\, A_t \times S_p & ; \text{دائم} \end{cases}$$

اینجا $\Rightarrow$ $F_i = 0{,}75 \times A_t \times S_p$

نکته $\ast$ حداقل پیش بار مورد نیاز: $F_{i_{min}}^{\ast} = (1-C)\,A_t S_p$

اگه F_i از این کمتر باشه باعث جدایش قبل از شکست می‌شه.

pilavaran



نمونه ۲ : سختی اتصال :

h : ضخامت ورق زیر پیچ و قطعه اول

← چون اینجا واشر نداریم

h همان t_1 است

$$l = \begin{cases} h + \frac{t}{2} & ; \quad t \leq d \\ h + \frac{d}{2} & ; \quad t > d \end{cases}$$

(h = ۱۵ ، t = ۳۰ ، d = ۱۶)

l : طول موثر درگیری

l_T : طول رزوه

$t > d \Rightarrow l = h + \frac{d}{2} = 15 + \frac{16}{2} = 23\,mm$ طول موثر درگیری

$l_T = 2d + 6mm = 38\,mm \Leftarrow L \leq 125mm$ جدول صفحه در

$l_T > l \leftarrow (۳۸ > ۲۳) \Rightarrow$ یعنی کل طول پیچ رزوه شده

! یعنی همه درگیری همش رزوه

↓

سهم پیچ در درگیری بخش رزوه شده است .

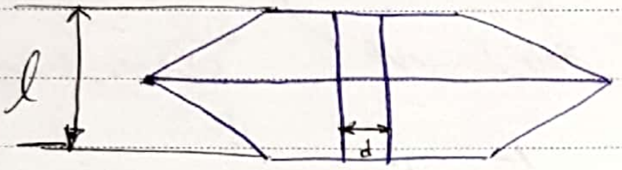
در اینجا که کل پیچ رزوه شده در درگیری موثر است ، به دلیل اینکه

Subject .   Year.   Month.   Day.

به دلیل اینکه سهم کشش زیاد شده سهم عامل وزنی است، شکست مربوط به پیچ هم برای این کشش بروز است

جدول F.1 (مرجع شیگلی)

$$k_b = k_t = \frac{E A_t}{l_t} = \frac{207 \times 157}{23} = \boxed{1413 \ \frac{kN}{mm}}$$



$$k_m = E d A \exp\left(\frac{Bd}{l}\right) = E d A e^{\frac{Bd}{l}}$$

جدول F.4 →
$$\begin{cases} A = 0.78715 \\ B = 0.62873 \\ E = 207 \ GPa \end{cases} \Longrightarrow \boxed{k_m = 4037 \ \frac{kN}{mm}}$$

$$C = \frac{k_b}{k_b + k_m} \simeq \boxed{0.26} \ \checkmark$$

بازبینی

$$F_b = F_i + C \frac{n P_t}{N}$$

$F_i \to 0.75 A_t S_p = 0.75 \times 157 \times 600 = 70650$

$C \to 0.26$

$\frac{nP_t}{N} \to \frac{5 \times 10^5}{6}$

$70650 + 21666.666 \longrightarrow F_b = 92316.666$

می‌توانیم به جای F_b، از شاخص شکست پیچ یعنی بار نواره را جایگذاری کنیم و ضریب بار را محاسبه کنیم

11

pilavaran

Subject . Year. Month. Day.

$$n_{l.F} = \frac{N}{P_t C}\left(A_t S_p - 0.75 A_t S_p\right)$$

$$\rightarrow n_{l.F} = \frac{6(0.25 A_t S_p)}{10^5 \times 0.26} = 5.4 > 5$$

ضریب بار واقعی ↑   ضریب بار اولیه فرض شده ↑

نتیجه ⟸ از نظر استحکام مورد تایید است //

اگر واقعی $n_{l.F}$ بیشتر از فرض اولیه باشد، میشه تعداد پیچ رو بیشتر کرد در ادامه مقادیر جدید را بیابیم اگر نشد میشه قطر پیچ را قطورتر بگیریم و یه چیز دیگه انتخاب کنیم

گشتاور سفت کردن: $T = k F_i d$

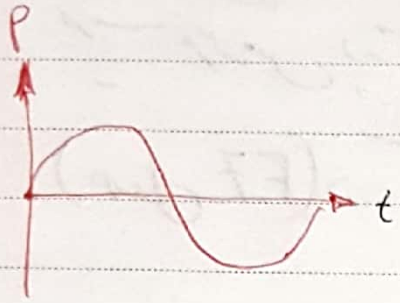
- d → 16 mm
- k → جدول F.6 (بدون روغن) $= 0.3$
- F_i → $0.75 A_t S_p$ → 157 , 600

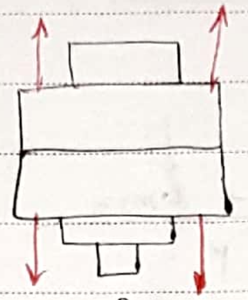
$\Rightarrow T = 0.3 \times 0.75 \times 157 \times 600 \times 16 \times 10^{-3}$

$\Rightarrow$ **$T = 339$ N.m**

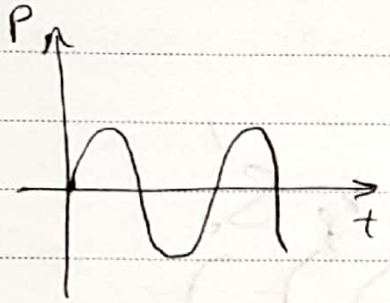
نتیجه نهایی: ۶ تا پیچ M16 با گشتاور 339 N.m

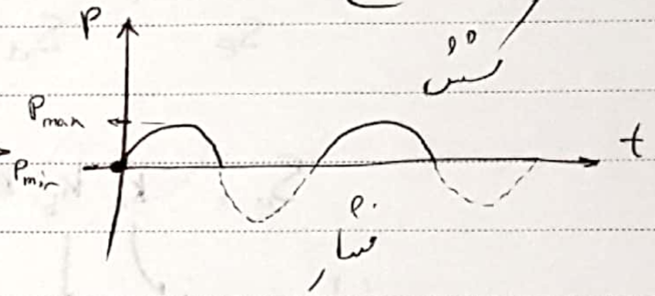
طراحی پیچ در اثر خستگی:





در خستگی پیچ ها، بار های کششی لحاظ می‌شود.





$$F_b = F_i + CP$$

(F_b ← نوسانی، CP ← نوسانی)

$$\begin{cases} F_{b,max} = F_i + CP_{max} \\ F_{b,min} = F_i + CP_{min} \end{cases}$$

$$\sigma_{b,max} = \frac{1}{A_t}\left[F_i + CP_{max}\right]$$

$P_{max} = \frac{P_{t,max}}{N}$ (بار وارد بر پیچ؛ $P_{t,max}$: بار کل وارد بر اتصال؛ N: تعداد پیچ ها)

$$\sigma_{b,min} = \frac{1}{A_t}\left[F_i + CP_{min}\right]$$

$P_{min} = \frac{P_{t,min}}{N}$ ($P_{t,min}$: بار کل وارد بر اتصال؛ N: تعداد پیچ ها)

pilavaran

Subject .   Year.   Month.   Day.

ضریب تمرکز تنش در پیچ : (جدول F.7)

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}$$

گودمن

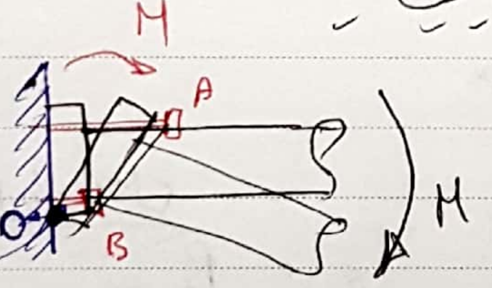
$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n_f}$$

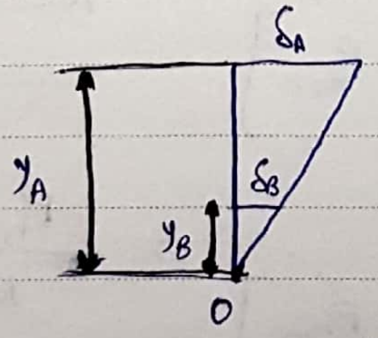
$$S_e = k_a\, k_b\, k_c\, k_d\, k_e\, k_f\, S'_e$$

k_a ← نورد سطح ماشینکاری
k_b ← 1 (بارگذاری)
k_c ← 0/85 (بارگذاری)
k_d ← T
k_e ← 1
k_f ← 1
S'_e ← $0/5\, S_{ut}$

* هرجا نیاز به S_y بود باید S_p را جایگزین کنید.

خمش پیچ :





تشابه → $\dfrac{\delta_A}{\delta_B} = \dfrac{y_A}{y_B}$

تغییر شکل پیچ:
$$\delta_A = \frac{F_A\, l}{AE}$$
$$\delta_B = \frac{F_B\, l}{AE}$$

$$\frac{F_A}{F_B} = \frac{y_A}{y_B} \quad (1)$$

معادله تعادل → $F_A \cdot y_A + F_B \cdot y_B = M \quad (2)$

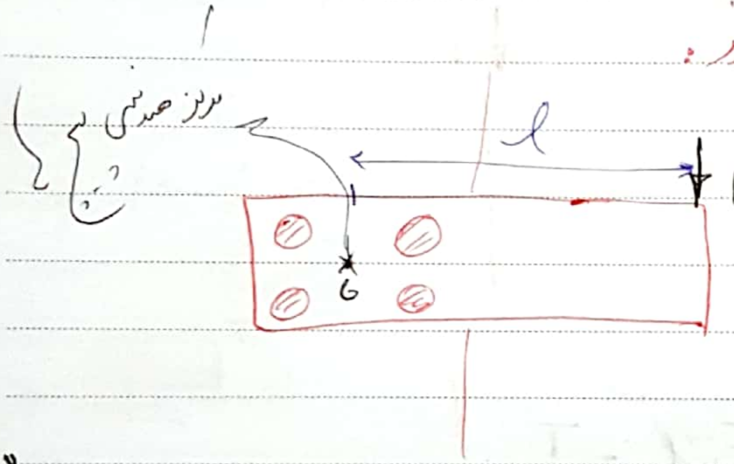
۲ معادله ۲ مجهول ⇐ $\checkmark F_A$ ، $\checkmark F_B$

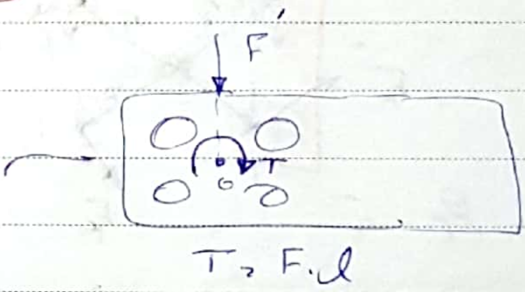
$$n_A = \frac{S_p A_t}{F_A}$$

$$n_B = \frac{S_p A_t}{F_B}$$

⇐ ضرایب ایمنی

- طراحی اتصال، تحت بارهای برشی خارج از مرکز.





۱) تعیین مرکز هندسی دسته‌ای از پیچ ها :

$$X_G = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}$$

$$Y_G = \frac{\sum_{i=1}^{n} y_i}{n}$$

۲) انتقال F به مرکز هندسی پیچ ها و محاسبه اثرات برش :

برش نوع اول : F'

برش نوع دوم : F''

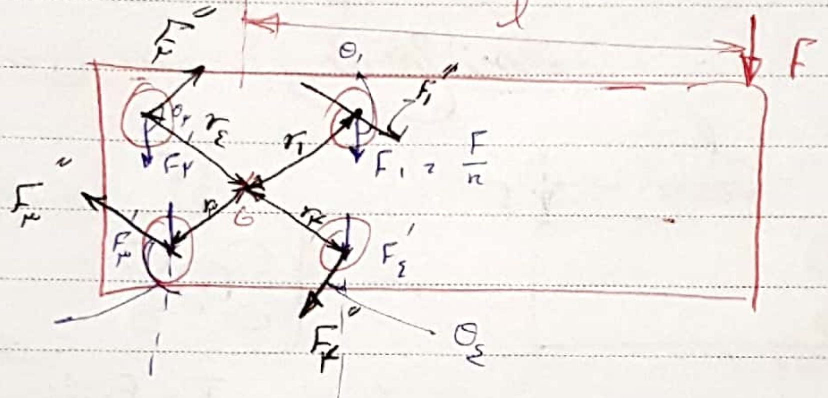
Subject . Year. Month. Day.

برش نوع اول $F' = \frac{F}{n}$, $\tau' = \frac{F'}{A}$

بار برش نوع دوم

برش نوع دوم : $\frac{F_1''}{r_1} = \frac{F_2''}{r_2} = \dots = \frac{F_n''}{r_n}$ (رابطه برابری)

r_i : فاصله مرکز هندسی پیچ ها تا مرکز پیچ i ام



$$\sum_{i=1}^{n} F_i r_i = F.l = T$$

برش نوع دوم

$$F_i'' = \frac{F.l \times r_i}{\sum_{i=1}^{n} r_i^2}$$

**

* همه F_i' ها هم جهت F هستند.

* F_i'' ها عمود بر شعاع r_i در جهت پیچش هستند.

Subject . Year. Month. / Day.

حالا معلوم بحرانی تره؟!!

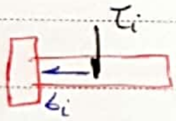
بار برشی معادل

می‌دانیم : $F_i = \left[(F_i')^2 + (F_i'')^2 + 2F_i'F_i''\cos\right]^{1/2}$

(همیشه دورترین پیچ و کمترین θ، پیچ بحرانی هستند)

۱) پیچ با دورترین فاصله از مرکز هندسه پیچ (G) ← (r_i ماکزیمم باشد)

۲) زاویه بین F_i' و F_i'' minimum (کمترین) باشد. (θ_i مینیمم باشد)



به واسطه بار برشی ← تنش برشی اتفاق می‌افتد $\tau_i = \frac{F_i}{A_t}$

$\sigma_i = \frac{F_i}{A_t}$ ← تنش نرمال خواهیم داشت ← $F_i = \begin{cases} 0.75 A_t S_p \text{ ; موقت} \\ 0.9 A_t S_p \text{ ; دائمی} \end{cases}$ ← پیش بار

فون میزز $\sigma_i' = (\sigma_i^2 + 3\tau_i^2)^{1/2}$

ضریب اطمینان پیچ $n = \frac{S_p}{\sigma_i'}$

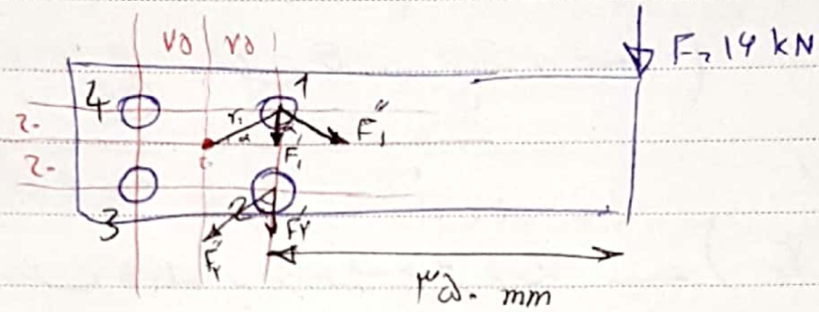
θ_i کمتر ← F_i بیشتر

متصل

Subject . Year. Month. Day.

مثال: یک ورق با ابعاد [crossed out] با استفاده از چهار پیچ مطابق شکل زیر به یک سازه متصل است.

مطلوب است مشخصات پیچ برای ضریب اطمینان واحد.



$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{۶۰}{۷۵}\right) = ۳۸{,}۷^\circ$$

$$r = \sqrt{(۶۰)^۲ + (۷۵)^۲} = ۹۶\ mm$$

$$F'_i = \frac{F}{n} = \frac{۱۶ \times ۱۰^۳}{۴} = ۴\ kN$$

$$F''_i = \frac{F.l \times r_i}{\sum_{i=1}^{4} r_i^2} = \frac{۱۶ \times ۱۰^۳ \times ۴۲۵ \times ۱۰^{-۳} \times ۹۶ \times ۱۰^{-۳}}{۴\,(۹۶ \times ۱۰^{-۳})^۲} = \underline{۱۷{,}۷\ kN}$$

r_1 و r_2 و r_3 و r_4 برابر هستند.

حال θ ها را مقایسه تا پیچ های بحرانی را بیابیم ← ۱ و ۲، θ کوچکتری دارند پس بحرانی هستند.

$$F_1 = F_2 = \left((۴)^۲ + (۱۷{,}۷)^۲ + ۲(۴)(۱۷{,}۷)\cos(۳۸{,}۷^\circ)\right)^{۱/۲}$$

$$F = F_1 = F_2 = ۲۱\ kN \longrightarrow \tau = \frac{F}{A_t} = \frac{۲۱\ kN}{A_t}$$

Subject . Year. Month. Day.

پیش بار ← $F_i = 0.75 A_t S_p$ ← $0.75 S_p = \sigma_i = \frac{F_i}{A_t}$

فون میزز : $\sigma' = \sqrt{(\sigma_i)^2 + 3\tau^2} = \left[(0.75 S_p)^2 + 3\left(\frac{21 \times 10^3}{A_t}\right)^2\right]^{1/2}$

با فرض حساب پایین شده می‌توان از درجه 5.8 طبق جدول F.5 استفاده کرد

درجه 5.8 $\xrightarrow{F.5}$ $S_p = 380\ MPa$

$n = 1 \longrightarrow \sigma' = S_p = 380\ MPa$

$\longrightarrow 380 = \left((0.75 \times 380 \times 10^6)^2 + 3\left(\frac{21 \times 10^3}{A_t}\right)^2\right)^{1/2}$

$\longrightarrow$ $\boxed{A_t = 144.7\ mm^2}$ سطح تنش مورد نیاز

پیچ بحرانی

حالا باید بریم جدول F.1 سمت درشت‌تن پیچ‌ها 18

* A_t باید از 144.7 بیشتر باشد

F.1 ⇐ { درشت / درجه ... $M16 \leftarrow A_t = 157$ > لـ A_t

میزان پیش بار : $F_i = 0.75 A_t S_p$

$= 44.745\ kN$

pilavaran

گشتاور سفت کردن پیچ:

$T_i = K F_i d$

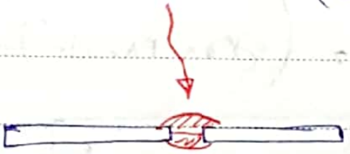
- K ← ۰٫۲ ← جدول F.6
- F_i ← ۴۴٫۷۴۵ kN
- d ← ۱۶

$\Rightarrow T_i = ۱۴۳٫۲ \ N.m$

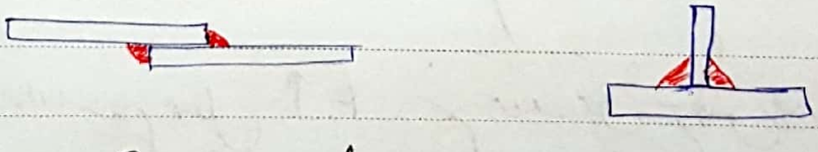
* هرچه قطر بیشتر باشد گشتاور بزرگتری ایجاد میشه.

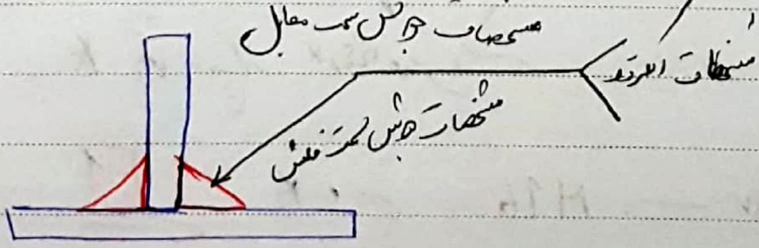
انواع جوش:

① جوش سر به سر (جوش شیاری) (Butt weld)



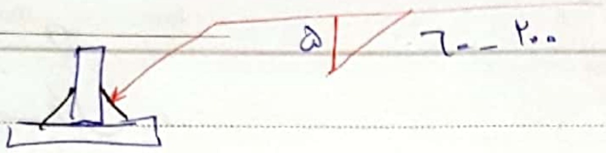
② جوش ماهیچه‌ای (fillet weld)



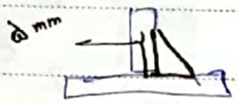


- نمادهای جوشکاری:

pilavaran

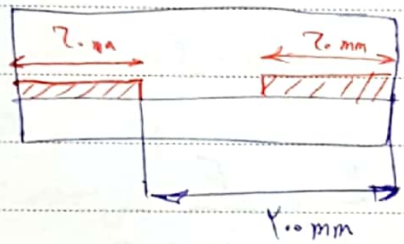


۵: یعنی ارتفاع جوش ۵ میلی‌متره



۶۰: طول خط جوش ۶۰ میلی‌متره ← (میره توضیح)

۲۰۰: گام تکرار

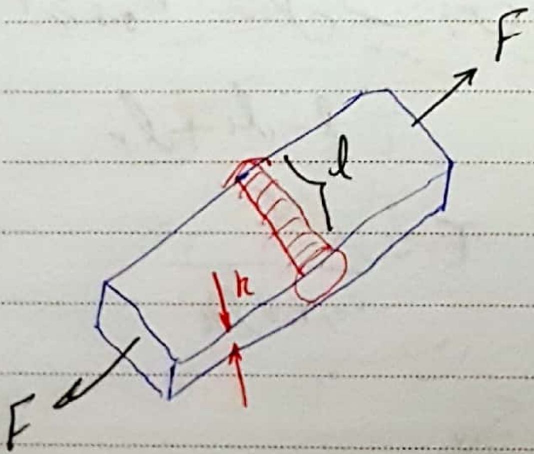


طراحی جوش: ← استاتیکی
← خستگی

طراحی استاتیکی:

۱) طراحی اتصال جوش‌های شیاری (سر به سر)

الف) حالت کشش:

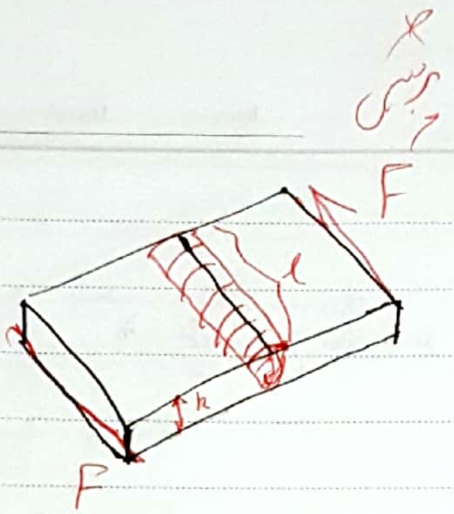


$\sigma = \frac{F}{lh}$ ⟶ $n_{s.f} = \frac{S_{ut}}{\sigma}$

pilavaran

Subject . Year. Month. Day.

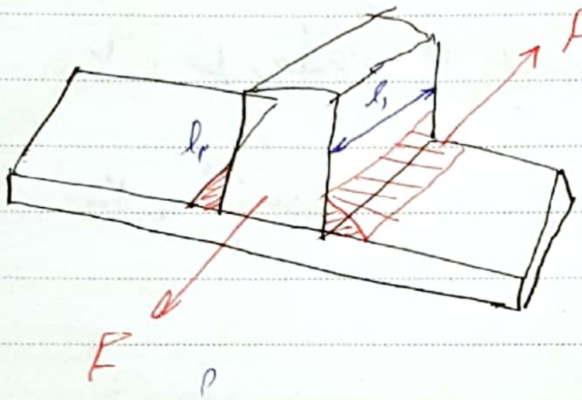
ب) حالت برش:



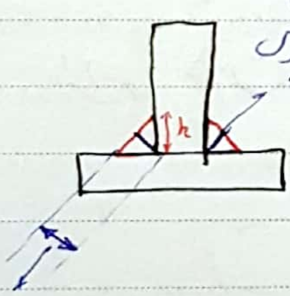
$$\tau = \frac{F}{hl} \quad \rightarrow \quad n_{S.F} = \frac{S_{su}}{\tau} \text{ یا } \frac{S_{sy}}{\tau}$$

(نهایی / تسلیم)

② جوش ماهیچه‌ای



$$l = l_1 + l_2$$



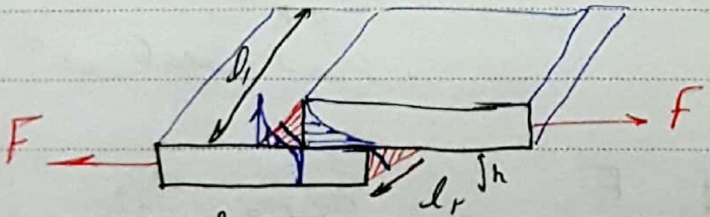
$$\frac{\sqrt{2}}{2}h = 0.707h$$

$$\tau = \frac{F}{0.707hl}$$

طول جوش / ارتفاع جوش

$$n_{S.F} = \frac{S_{sy}}{\tau}$$

$n_{S.F} \geq 3$: به دلیل کیفیت پایین جوشکاری، خطای اپراتوری، الکترود، تنش‌های پسماند و ...



h: ارتفاع جوش

$$l = l_1 + l_2$$

$$\tau = \frac{F}{0.707lh}$$

$$n_{S.F} = \frac{S_{sy}}{\tau}$$

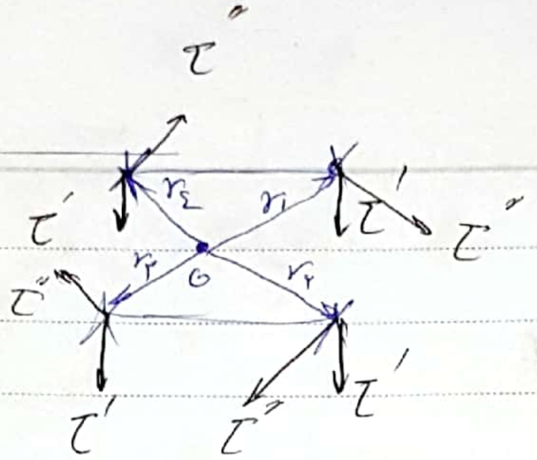
(1) [illegible]

(2) [illegible]

[illegible]

(3) [illegible]

[illegible]



$$\tau_{max} = \left[\tau'^2 + \tau''^2 + 2\tau'\tau'' \cos\theta \right]^{1/2}$$

محاسبه τ برآیند

(τ': max، τ'': max، $\cos\theta$: min)

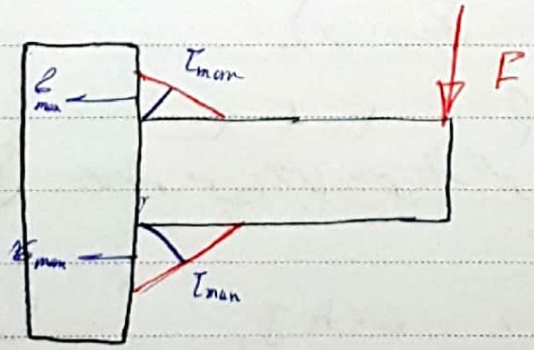
۲ یعنی r_1 و r_2

r_{max}، θ_{min} → τ_{max}

نقطه بحرانی بیشترین تنش هستند

$$n_{S.F} = \frac{S_{su}}{\tau_{max}} \quad \text{یا} \quad \frac{S_{sy}}{\tau_{max}}$$

طراحی جوش در اتصال خمشی:



① محاسبه تنش ناشی از بار برشی F.

$$\tau_1 = \frac{F}{0.707\, h\, l} \quad ; \quad l = l_1 + l_2$$

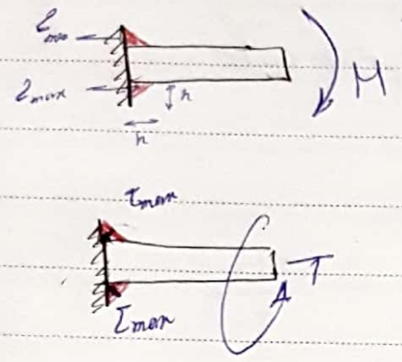
h: ارتفاع جوش

l: طول خط جوش

② محاسبه تنش ناشی از خمش.

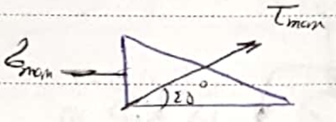
مکان رو با تنش بیشتر جوش بزنیم

Subject .   Year.   Month.   Day.



معادل اند

$$\sigma_{max} = \frac{MC}{I} \quad (1)$$



$$\sigma_{max} = \frac{\sqrt{2}}{2}\,\tau_{max} = 0.707\,\tau_{max} \quad (2)$$

$$(1),(2) \Rightarrow \tau_{max} = \frac{MC}{0.707\,I}$$

$$0.707\,I = I' = 0.707\,h\,I_u$$

جدول W.2

ممان اینرسی واحد سطح
را در جدول آورده است

فاصله دورترین نقطه مورد بررسی

تنش اعلای

$$\Rightarrow \tau_2 = \frac{MC}{0.707\,h\,I_u}$$

ضخامت جوش (ارتفاع جوش)

(3) محاسبه برآیند تنش‌ها:

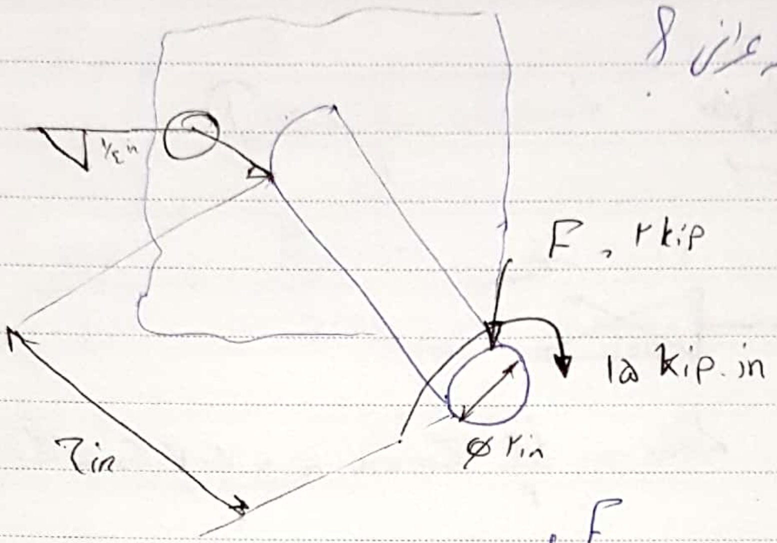
$$\tau = \sqrt{\tau_1^2 + \tau_2^2}$$

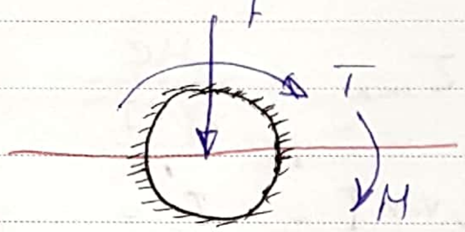
$$n_{S.F} = \frac{S_{su}}{\tau_{max}} \;\text{یا}\; \frac{S_{sy}}{\tau_{max}}$$

pilavaran

Subject . Year. / Month. Day.

مثال : تنش ماکزیمم و نقطه‌ی آن ؟





① F ⟶ τ_F

② T ⟶ τ_T

③ M ⟶ τ_M

محاسبه τ_F :

$$\tau_F = \frac{F}{0.707\,h\,l} \qquad l \rightarrow 2\pi r$$

$$A = 0.707h(2\pi r) = 1.414\,\pi \times \tfrac{1}{4} \times 1 = 1.111\ in^2$$

$$\longrightarrow \tau_F = \frac{F}{A} = \frac{2}{1.111} = \boxed{1.80\ kPSi}$$

محاسبه τ_T :

$$\tau_T = \frac{Tr}{J} = \frac{Tr}{0.707\,h\,J_u}$$

(T = 15 , r = 1 , h = 1/4 , J_u : جدول ۹.۱)

$$J_u = 2\pi r^3 = 2\pi(1)^3 = 6.283\ in^3$$

pilavaran

Subject .   Year.   Month.   Day.

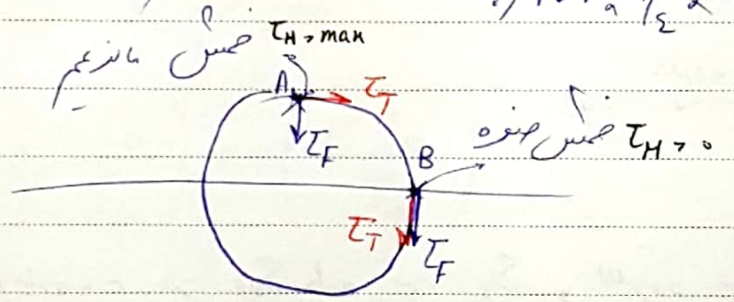
$$\Rightarrow \tau_T = \frac{۱۵ \times ۱}{۰٫۷۰۷ \times \frac{1}{4} \times ۶٫۲۸۳} = \boxed{۱۳٫۵ \text{ kpsi}}$$

حالا τ_M :

$$\tau_M = \frac{Mr}{I} = \frac{Flr}{۰٫۷۰۷ h I_u} = \frac{۲ \times ۶ \times ۱}{۰٫۷۰۷ \times \frac{1}{4} \times I_u}$$

جدول 9.2 : $I_u = \pi r^3 = \pi (1)^3 = ۳٫۱۴۲ \text{ in}^3$

$$\rightarrow \tau_M = \frac{۲ \times ۶ \times ۱}{۰٫۷۰۷ \times \frac{1}{4} \times ۳٫۱۴۲} = \boxed{۲۱٫۶ \text{ kpsi}}$$



τ_F در همه جا برابر

در نقطه A ، τ_M بیشینه و مقدارش ۲۱٫۶ و τ_T ، τ_F عمود بر هم اند

در B ، τ_M صفر و τ_T ، τ_F هم راستا.

برآیند تنش ها در A ← $\tau_A = \sqrt{\tau_F^2 + \tau_T^2 + \tau_M^2}$

در B ← $\tau_T + \tau_F + 0$

⇐ نقطه A نقطه بحرانی است

$$\tau_A = \sqrt{\tau_F^2 + \tau_T^2 + \tau_M^2}$$

pilavaran

استحکام جوش : ← انتخاب استحکام ماده ضعیف‌تر

استحکام الکترود بالاتر از استحکام ماده پایه است.

مشخصات مکانیکی الکترود ها بر اساس استاندارد انجمن جوش آمریکا (AWS)

E 70 XX

- E ← استاندارد AWS
- 70 ← استحکام نهایی الکترود
- XX ← شرایط جوشکاری

S_{ut}^{*} (kpsi) $\xrightarrow{\times 6.89}$ MPa

حالا ماده پایه یه S_{ut} داره یه S_y و الکترود یه S_{ut}^{*} یه S_y^{*} داره

* در جدول W-3 مشخصات الکترود آورده شده است.

* جدول W-4 :

استحکام مجاز در جوش (W-4)

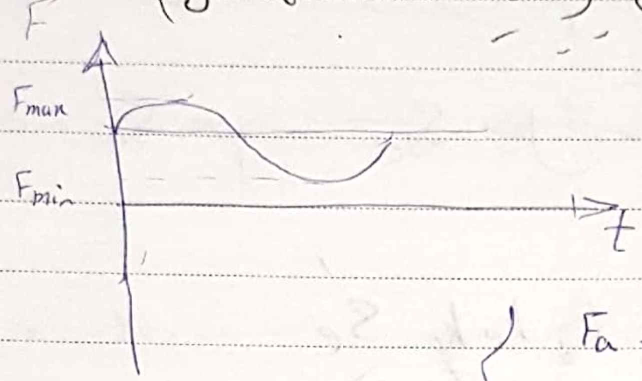
تنش های مجاز :

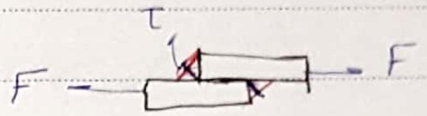
$$n = \frac{S_p}{\sigma} = \frac{S_p}{\tau}$$

pilavaran

Subject . Year Month Day.

خستگی در پیچ ها: بار با دامنه نوسان غیر صفر (بارگذاری خستگی)





$F_a \rightarrow \tau_a$

$F_m \rightarrow \tau_m$

→ حالت ترکیب خستگی

(دقیق) برای حالت دقیق ترین رابطه ← رابطه جربر:

$$\left(\frac{n\tau_a}{S_{se}}\right) + \left(\frac{n\tau_m}{S_{su}}\right)^2 = 1$$

(کاربردی) اما رابطه کاربردی رابطه خط گودمن است

$$\frac{\tau_a}{S_{se}} + \frac{\tau_m}{S_{su}} = \frac{1}{n}$$

$S_{su} = 0.67\, S_{ut}$ → 0.59 برداریم

$S'_e = 0.5\, S_{ut}$ $\xrightarrow{\text{در پیچ}}$ $S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e$

k_a: فرایند فورج

k_b: همیشه ۱

$k_e k_f$: بسته به شرایط

اگر فرایند سنگ‌زنی استفاده شده باشد به جای فرایند فورج از فرایند سنگ‌زنی استفاده شود

pilavaran

علاوه k_c ، به خاطر برش ضریب ۰٫۵۹.

S_e هم به S_{se} تبدیل میشه.

$$S_{se} = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e$$

- k_a ← خمش یا پیچشی
- k_b ← ۱
- k_c ← ۰٫۵۹
- $k_d k_e k_f$ ← شرایط
- S'_e ← ۰٫۵ S_{ut}

$$S_{sa} = ۰٫۶۷ \, S_{ut}$$

همیشه یا n رو میدن، ضخامت رو میخوان یا بالعکس.

$$\frac{\tau_a}{S_{se}} + \frac{\tau_m}{S_{su}} = \frac{1}{n}$$

ضریب اطمینان ← n ✓ ، h ? ← ضخامت جوش

n ? ، h ✓

★ محدوده ضخامت جوش:

$h_{min} \leq h \leq h_{max}$

ضخامت ورق (mm)	h_{min} (mm)
۰ – ۶	۳
۶ – ۱۲	۵
۱۲ – ۱۸	۶
۱۸ – ۳۲	۸
۳۲ – ۵۵	۱۰
۵۵ – ۱۵۰	۱۲

h_{min} (حداقل ضخامت جوش):

ورق	h_{min}
≥ ۱۵۰	۱۶

pitlevaran

Subject . Year. Month. Day.

h_{max} (حداکثر ضخامت جوش) :

جوش شیاری (سر به سر) . Batt ← h_{max} = ضخامت ورق

جوش گوشه‌ای fillet ← h_{max} = ۰/۷۵ × ضخامت ورق

ضخامت ورق = min { ضخامت کمترین ورق / جوش داده شده }

فنرها :

۱. جامد

۲. هیدرولیکی

۳. پنوماتیکی (گازی)

* فنرها انرژی را به صورت پتانسیل ذخیره و به صورت جنبشی آزاد می‌کنند .

* در این درس ما به فنرهای جامد می‌پردازیم .

* فنرها یا برای کشش یا برای فشار طراحی شده‌اند . (هردو نمیشه)

* فنرهای کششی قلاب دارند .

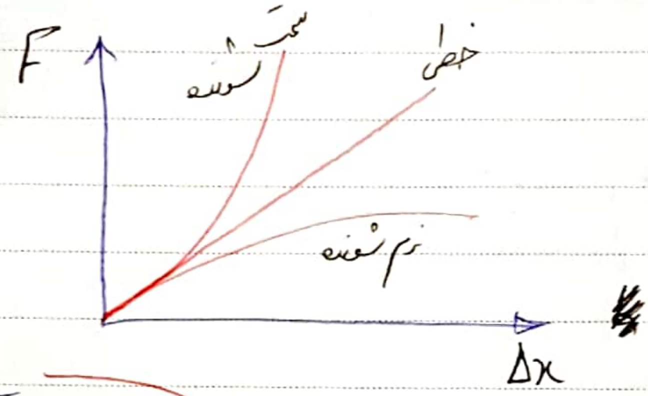
pilavaran

Subject . Year. Month. Day.

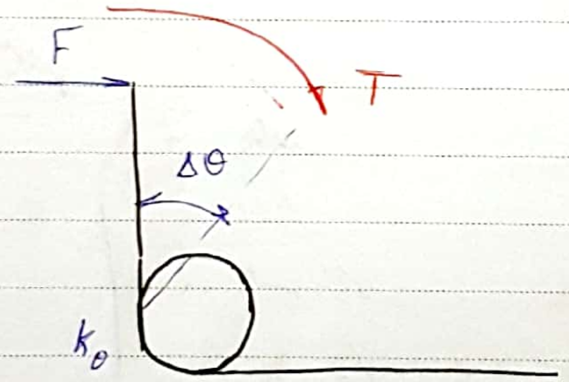
ما ۳ جور فنر داریم: ۱. فنر خطی: رابطه هوک برای آن برقراره $F = k\Delta x$

باکس کش ⟵ ۲. سفت شونده:

پلیمرها ⟵ ۳. نرم شونده: با تغییر طول، راحت تر کش میاد (خیلی آزاده)



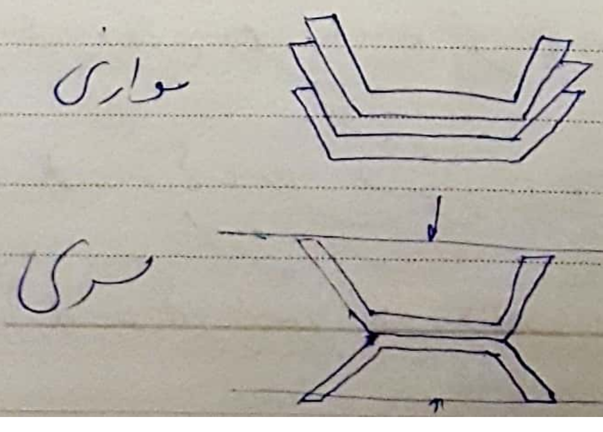
فنر پیچشی:

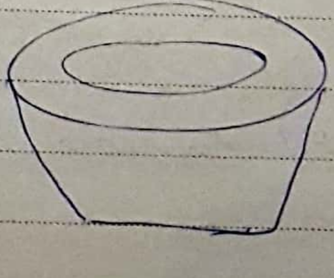


$$T = k_\theta \cdot \Delta\theta$$

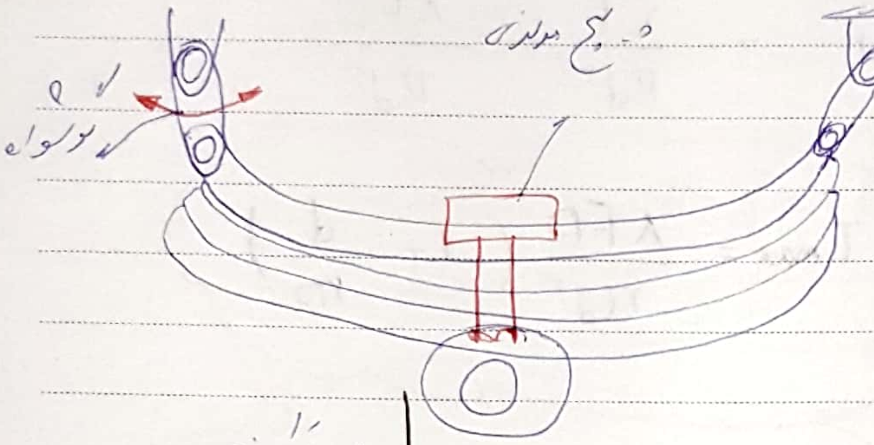
- T ⟵ گشتاور پیچشی
- k_θ ⟵ سختی پیچشی فنر
- $\Delta\theta$ ⟵ زاویه پیچش

فنرهای بشقابی: (حلقه‌های فلزی) برای بارگذاری بالا به کار می‌روند.





نوع سواره :

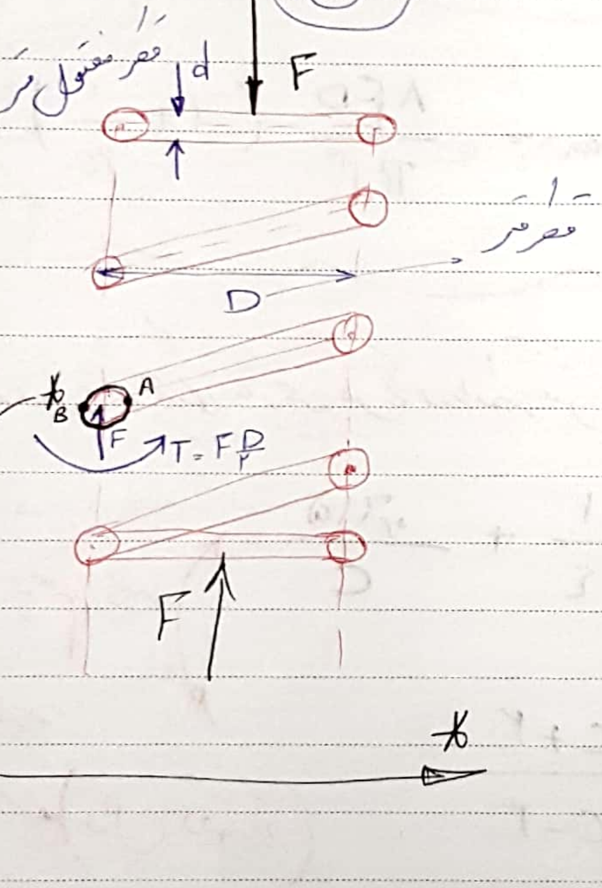


در خودرو ها استفاده میشه و پایداری رو به سمت میبره بالا

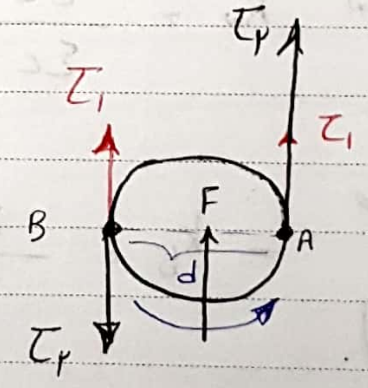
leaf spring

دیگر [redacted] اینه که ابعاد خیلی بزرگی داره

طراحی فنر :



اندیس فنر $= C = \frac{D}{d}$



هر ۲ تنش همسو هستند

$$T = F\frac{D}{2}$$

$$\tau_1 = \frac{4F}{\pi d^2} , \quad \tau_2 = \frac{Tr}{J} = \frac{(FD/2)(d/2)}{\frac{1}{32}\pi d^4} = \frac{8FD}{\pi d^3}$$

Subject .   Year.   Month.   Day.

در نقطه‌ی داخلی قطر مقطع (A)

همسو هستند

$$\tau_{max} = \tau_1 + \tau_2 = \frac{4F}{\pi d^2} + \frac{8FD}{\pi d^3}$$

$$\Rightarrow \tau_{max} = \frac{8FD}{\pi d^3}\left(1 + \frac{d}{2D}\right)$$

اندیس فنر $C = \frac{D}{d}$

$$\tau_{max} = \frac{8FD}{\pi d^3}\left(1 + \frac{1}{2C}\right)$$

لحاظ نمودن اثر خمیدگی مارپیچ فنر که در رابطه نقش دارد :

ضریب وال (Wall) $\quad K_W = \frac{4C-1}{4C-4} + \frac{0.615}{C}$

ضریب برگشتراسر (Bergstrasser) $\quad = K_B = \frac{4C+2}{4C-3}$

نسبت بهم ۱ درصد خطا دارند

(وال دقیق‌تره)

برگشتراسر محاسباتش راحت‌تره و ما از آن استفاده میکنیم.

$$\tau_{max} = K_B \frac{8FD}{\pi d^3}$$

pilavaran

Subject . Year. Month. Day.

اندیس فنر

$C = \frac{D}{d}$

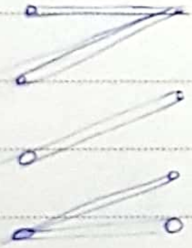
معمولاً ← $۴ < C < ۱۲$

اگر $C < ۴$ باشد:

به دلیل خم شدید دچار شکست می‌شود.

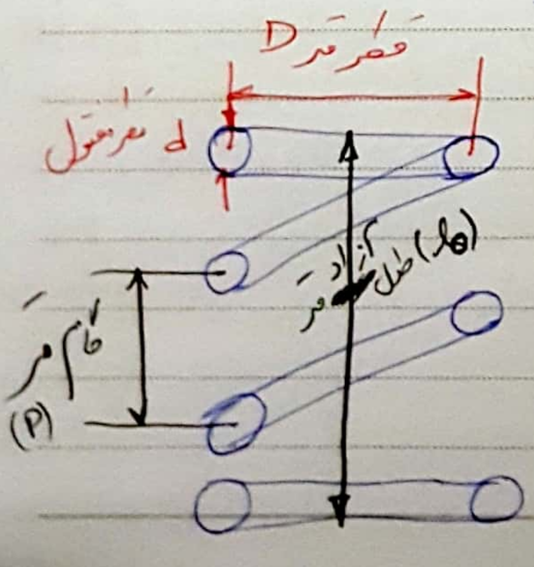
ساخت آن هم بسیار سخت است.

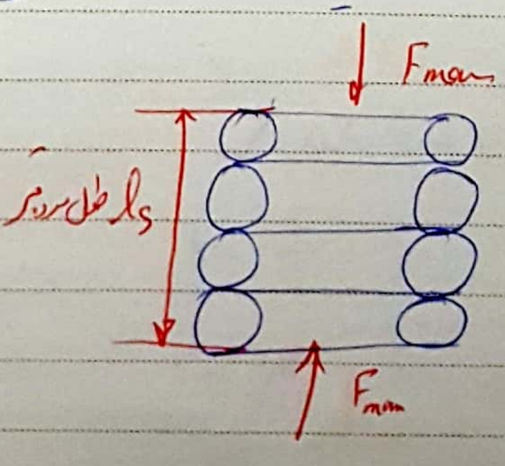
اگر $C > ۱۲$ باشد:



فنر ناپایدار می‌شود.

پس C را بین ۴ و ۱۲ بگیرید.





pilavaran

Subject . Year. Month. Day.

استحکام و نرمی :

نرمی:
- جوش‌پذیری بالا ← فولاد ساده‌ای با جوش‌پذیری مناسب
- استحکام بالا ← فولاد مستحکم (کوئنچ و تمپر معمولاً در حمام روغن) (فولاد ویژه)
  - ↲ عملیات حرارتی

استحکام ↑

OQ&T
- روغن
- کوئنچ
- تمپر شده

در مواد نرمی از جنس فولاد ‾معمولاً→ $S_y = 0.75\, S_{ut}$

ون میزز → $S_{sy} = 0.577\, S_y = 0.45\, S_{ut}$

خلاصه:

$$S_{ut} = \frac{A}{d^m}$$ ← جدول ۲

$$S_y = 0.75\, S_{ut}$$

$$S_{sy} = 0.45\, S_{ut}$$

pilavaran

فرامرز اسانتیل

Subject . Year. Month. Day.

محاسبه ضریب اطمینان فنر: (در فنرهای مارپیچ تنش برشی وجود داریم)

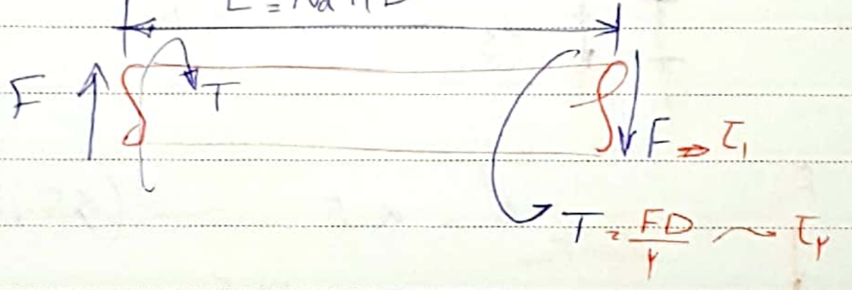
$$n_{SF} = \frac{S_{sy}}{\tau_{max}} \qquad \left(\tau_{max} = k_B \frac{8FD}{\pi d^3}\right)$$

N_a : تعداد حلقه‌های فعال

D : قطر متوسط مارپیچ

d : قطر مفتول

طول فنر ← $L = N_a \pi D$



$$\text{کل } E = E_1 + E_2 = \frac{4F^2D^3N_a}{Gd^4}\left(1 + \frac{1}{2C^2}\right)$$

E_1 ناشی از τ_1 ، E_2 ناشی از τ_2

طبق قضیه کاستیلیانو →

$$y = \frac{\partial E}{\partial F} \Rightarrow y = \frac{8FD^3N_a}{Gd^4}\left(1 + \frac{1}{2C^2}\right)$$

جابجایی ناشی از اعمال بار F

طبق اغماض ($\frac{1}{2C^2} \approx 0$، پرانتز ≈ 1)

$$y = \frac{8FD^3N_a}{Gd^4} \qquad k = \frac{F}{y}$$

سفتی فنر →

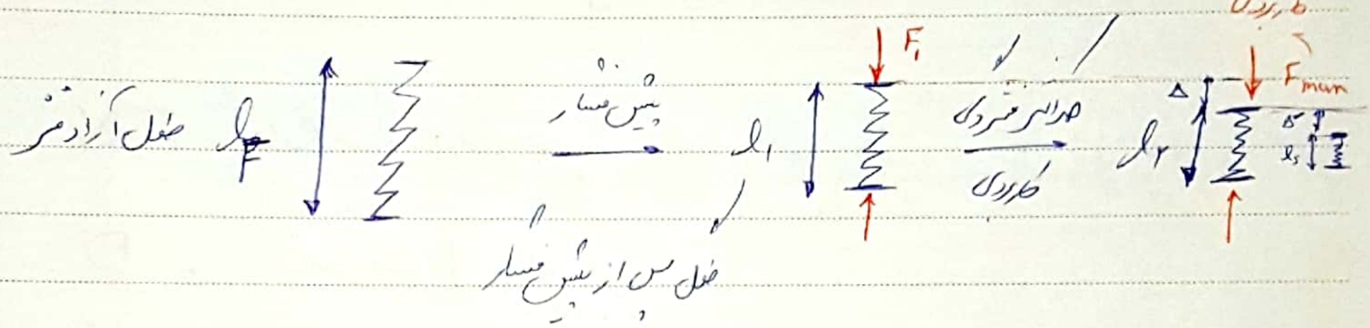
$$k = \frac{Gd^4}{8D^3N_a}$$

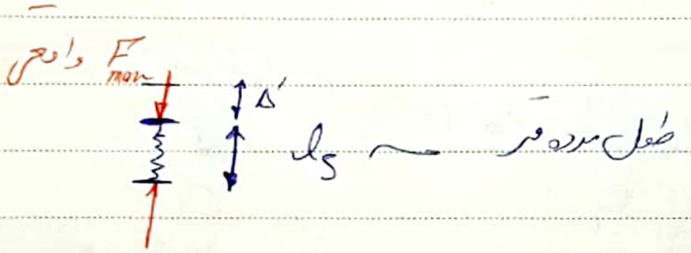
pilavaran

طراحی فنر:

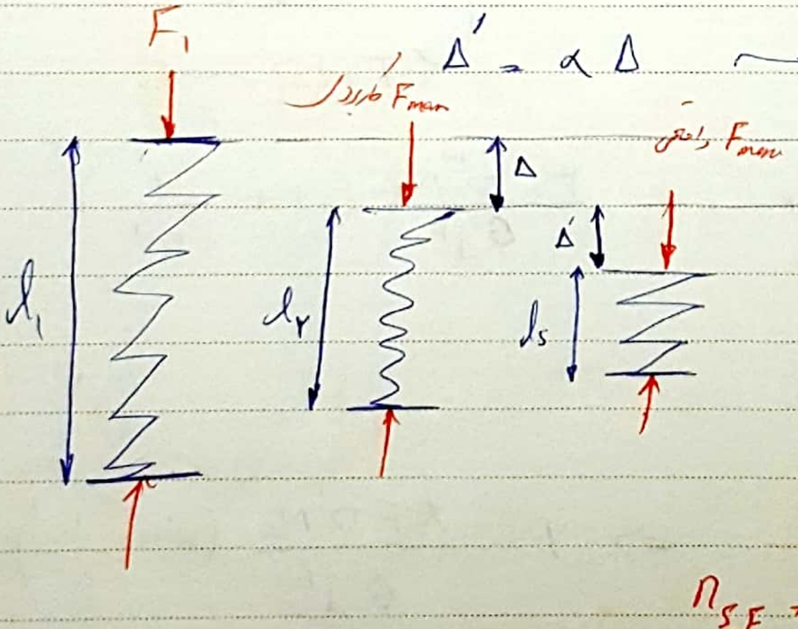
استاتیکی ← در بیشترین فشردگی اتفاق می‌افتد.

خستگی





$\Delta' = \alpha \Delta \longrightarrow (\alpha \simeq ۰,۱)$



$۰,۴۵ S_{ut}$

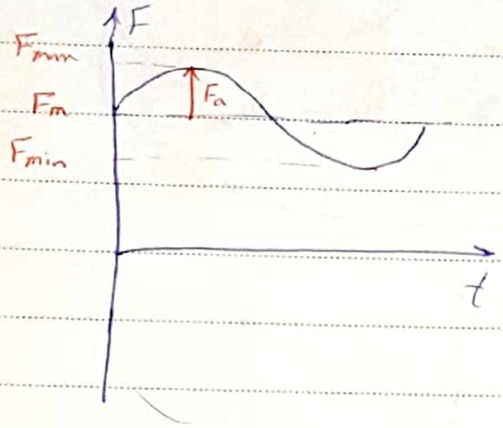
$$n_{S.F} = \frac{S_{sy}}{\tau_{max}}$$

$\tau_{max} \longrightarrow K_B \frac{8FD}{\pi d^3}$

pilavaran

Subject . (حرکت نوسانی)   Year.   Month.   Day.

طراحی بر اساس خستگی: به دلیل ماهیت اعمال فنر ← همواره در معرض تنش وجود دارد



$$F_a = \frac{F_{max} - F_{min}}{2} \rightarrow \tau_a = k_B \frac{8 F_a D}{\pi d^3}$$

$$F_m = \frac{F_{max} + F_{min}}{2} \rightarrow \tau_m = k_B \frac{8 F_m D}{\pi d^3}$$

معیار گودمن:

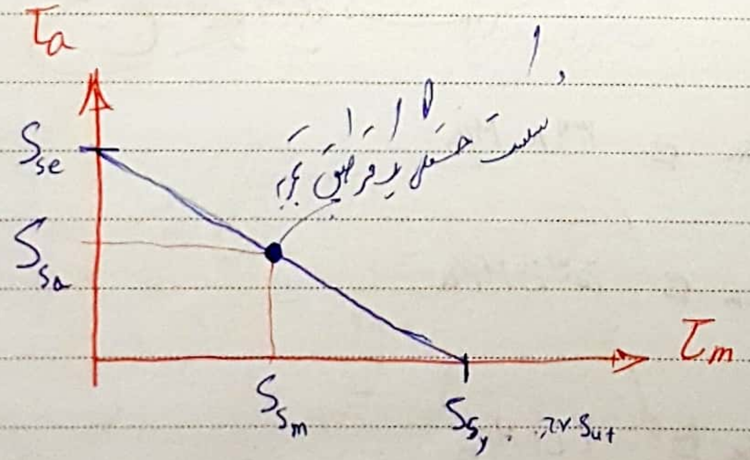
$$\frac{\tau_a}{S_{se}} + \frac{\tau_m}{S_{su}} = \frac{1}{n_f}$$

$n_f \simeq 1.5 \quad (1.2 \leq n_f)$

$S_{su} = 0.67 \, S_{ut}$

$S_e = \,?$

معیار زیمرلی:



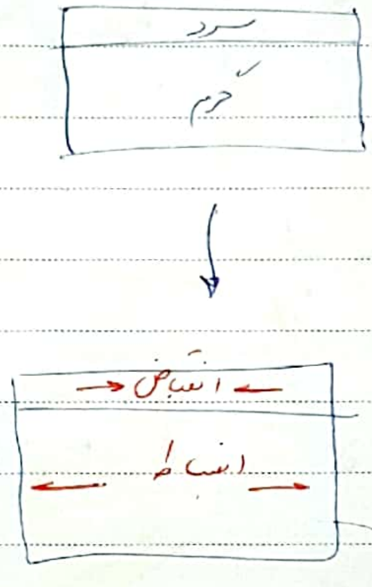
$$\begin{cases} \tau_a = S_{sa} \\ \tau_m = S_{sm} \end{cases} \xrightarrow[n_f = 1]{\text{تقسیم}} \frac{S_{sa}}{S_{se}} + \frac{S_{sm}}{S_{su}} = 1 \qquad (S_{se} = \,?)$$

pilavaran

Subject . Year. Month. . Day

نتایج آزمایش تجربی

$$\Rightarrow \quad S_{se} = \frac{S_{su}\, S_{sa}}{S_{su} - S_{sm}}$$



تنش کششی می‌ماند ← که ← باعث ترک میشه

نتایج تجربی زیر:

تحت ساچمه‌زنی شده (Shot peening):

$S_{sa} \simeq$ ۳۹۸ MPa

$S_{sm} \simeq$ ۵۳۴ MPa

قبل ساچمه‌زنی:

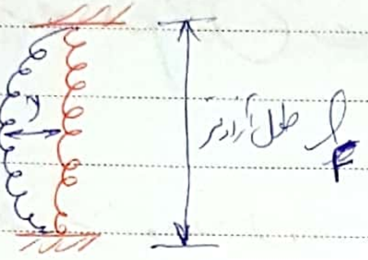
$S_{sa} \simeq$ ۲۴۱ MPa

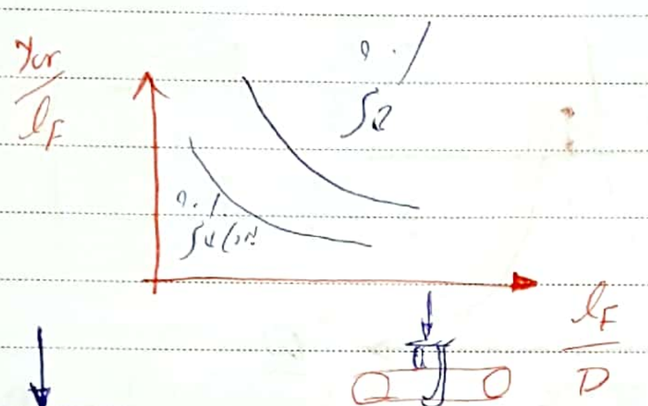
$S_{sm} \simeq$ ۳۷۹ MPa

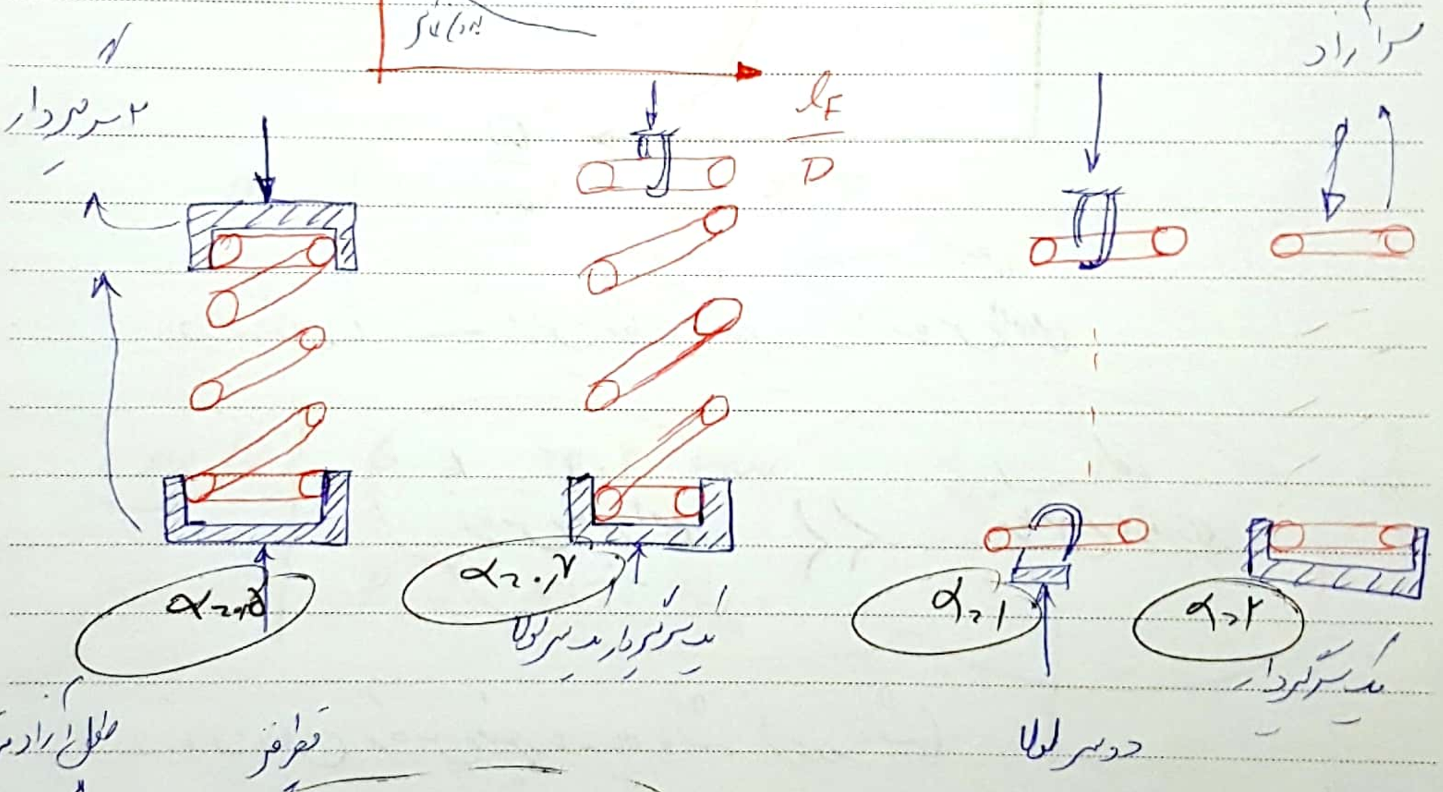
pilavaran

Subject .   Year.   Month. ۵ / Day.

* کمانش فنر







طول آزاد فنر — قطر فنر

$$l_F < \frac{\pi D}{\alpha}\left[\frac{2(E-G)}{2G+E}\right]^{1/2}$$

: شرط عدم وقوع کمانش

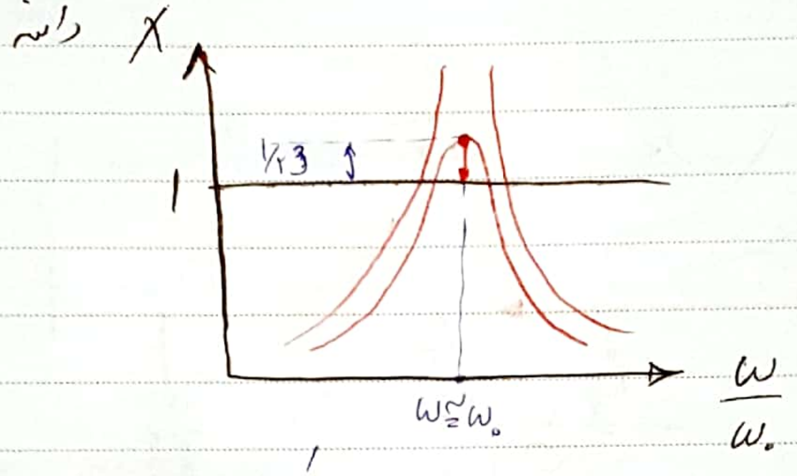
α: ضریب انتهای فنر
G: مدول برشی فنر
E: مدول یانگ فنر

L_{cr} ← طول بحرانی

pilavaran

$d_F < d_{cr}$ ⟸ شرط عدم کمانش

فرکانس طبیعی تیر و رزونانس:



در حد طراحی { ـــ اولین فرکانس طبیعی ـــ فرکانس ۲ اصلی (طبیعی)

f_n: فرکانس طبیعی اصلی >> فرکانس بارگذاری

تا حد امکان فرکانس طبیعی باید بالا باشه (دور باشه)

ـــ فرکانس طبیعی اول باید ماکزیمم شود ـــ f_{1max} فرکانس طبیعی اول

فرکانس اولیه تیر:

$$f_1 \approx (10-15)\, f_l$$

f_1: فرکانس اول

f_l: فرکانس بارگذاری

pilavarah

Subject: ۸

فرکانس طبیعی

$$f_n = \frac{1}{n\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}$$

(n/۲) — سختی فنر — جرم فنر

شماره فرکانس طبیعی $n = 1, 2, 3, 4, \ldots$

فرکانس اصلی:

$f_n = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{k}{m}}$ (دو سر گیردار) ⟶ مهم درجه یک

$f_n = \frac{1}{4}\sqrt{\frac{k}{m}}$ (یک سر گیردار، یک سر آزاد)

$$m = (\pi D N_a) \times \frac{\pi}{4} d^2 \times \rho$$

(قطر فنر، تعداد فعال، قطر مفتول) — طول فنر، مساحت، چگالی

در فولاد:

$G = 79.3\ GPa$

$\rho = 7860\ kg/m^3$

$f_n = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{k}{m}}$ ⟶

$$f_n = \frac{357 d}{D^2 N_a}$$

باید

~~$f_n \geq (10-15) f$ بارگذاری~~

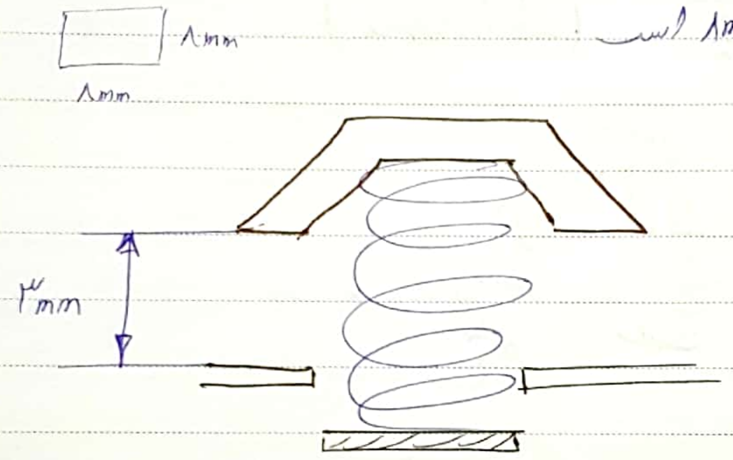
$$f_n \geq (10 \sim 15) f_{بارگذاری}$$

مثال : مطلوب است طراحی فنر برای دکمه‌ای که صفحه کلید ما بشود. این فنر دارای پیش بار

$F = 50\,gf$. تغییرات نیروی حین پایین آمدن دکمه ۴۰٪ نیروی اولیه است. $(\Delta F = 0.4 F_1)$

مقدار پایین آمدن دکمه که باید حدود ۳mm باشد $(\Delta = 3mm)$ با ۱۰٪ تغییر طول بیشتر به طول بسته شده

می‌رسد. سطح صفحه کلید مربع به ضلع ۸mm است



جنس و d و D و $N_a = ?$

۱) جنس : ـــ جدول (S_2)

ـــ به دلیل اندازه کوچک و حساسیت بالا به دلیل جزئی یک فنر در صفحه کلید

معیوب می‌شود ← طبق جدول S_2 سیم موسیقی را انتخاب می‌کنیم

فرض اولیه ← $d = 0.1\,mm$

$C = 10$ ایده‌آل

$C = \frac{D}{d} \rightarrow D = 1mm$

با توجه به طول این احتمال کمانش بالا می‌رود ← d را افزایش می‌دهیم

فرض دوم → $d = ۰٫۲۵\ mm$, $C = ۱۰\ mm$ → $D = ۲٫۵\ mm$

معلوم اولیه ✓

$S_{ut} = \frac{A}{d^m}$ —$S_۲$→ $A = ۲۲۱۱$, $m = ۰٫۱۴۵$ → $S_{ut} = $ ✓

$k = $ → فرمول مستقیم جرم و وزنه — فرمول

→ $\frac{F}{\Delta}$ → $k = \frac{\Delta F}{\Delta} = \frac{۰٫۴ \times ۵۰ gr f}{۳ \times ۱۰^{-۳}} = \frac{۰٫۴ \times ۵۰ \times ۱۰^{-۳} \times ۹٫۸۱}{۳}$

سختی فنر → $k = ۰٫۰۶۷\ N/mm$

از جدول

k فرمول → $k = \frac{Gd^4}{8D^3 N_a} = \frac{(۸۲٫۷)(۰٫۲۵)^۴}{۸ \times (۱)^۳ N_a} = ۰٫۰۶۷$

→ $N_a = ۳۹$ تعداد حلقه‌های فعال

حال فرض می‌کنیم فنر دو سر مربع دار باشد

جدول S_1 → $N_t = N_a + ۲$ → $N_t = ۳۹ + ۲ = ۴۱$

۲ حلقه غیرفعال انتهایی

تعداد کل حلقه‌ها

pilavaran

Subject . Year. Month. Day.

مرحله ۵ : $l_s = N_t d = ۴۱ \times ۰,۲۵$

$l_s = ۱۰,۲۵$ mm

↓ طول پیچ احتمالی

۳ + ۱ + ۱۰,۲۵ ≈ (۱۴ـ۱۵) mm

↓

ضخامت صفحه طلبید → ۲۵mm زیاد است.

(۱۰ mm هم طول صفحه بگیرید مثلاً)

* باید طول پیچ رو کمتر کنیم

* که باید

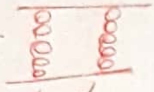
** ماهی ها هم N_a کم شود ـــــ برای اینکه ضخامت صفحه ـــــ D رو باید زیاد کنیم

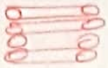
↓

C رو باید بزرگتر کنیم

C = ۱۰ → C = ۱۵

pilavaran

$l_s = (N_a+1)d$ — 

 — $l_s = (N_a+2)d$

Subject .　　　　Year.　　Month.　　Day.

مرحل → $C = ۱۵$ → $D = ۱۵ \times ۰٫۲۵ = ۳٫۷۵\ mm$

$\rightarrow N_a = \dfrac{Gd^4}{8KD^3} = 11$

جدول ۱-۵ → $l_{sh} = (N_a+2)d = (11+2)\ ۰٫۲۵ = ۳٫۲۵\,mm$

$۶٫۲۵ + ۳ + ۱۰ = ۱۶٫۲۵\ mm$ ✓ مثلا

عملکرد

طول آزاد فنر : $l_F \xrightarrow[\text{پیش بار}]{F_i = ۵۰\,gr\,F} l_1 \xrightarrow[\text{بار عملکردی}]{\Delta F = ۰٫۴ F_i} l_2 \longrightarrow l_s = ۳٫۲۵\,mm$

$\Delta = ۳mm$　　$\Delta' = ۰٫۱$, $\Delta = ۰٫۳mm$

$l_2 = l_s + \Delta' = ۳٫۲۵ + ۰٫۳ = ۳٫۵۵\ mm$

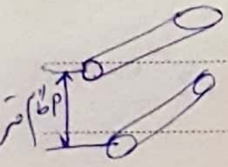
$l_1 = l_2 + \Delta = ۳٫۵۵ + ۳ = ۶٫۵۵\ mm$

$k(l_F - l_1) = F_i$

$k \to ۰٫۰۲۷$, $l_1 \to ۶٫۵۵$, $F_i \to ۵۰ \times ۱۰^{-۳} \times ۱۰$

$\Rightarrow l_F = ۱۴\ mm$

دور بسته | S.9



گام $\boxed{P = ۱٫۲mm}$ ⟸ $l_F = PN_a + ۳d$

$l_F \to ۱۴$, $N_a \to ۱۱$, $d \to ۰٫۲۵$

حالا همه مجهولات را داریم (N, D, d, P, جنس)

حالا باید با رابطه گودمن خستگی طراحی کنیم:

$$\tau_{max} = k_w \frac{8FD}{\pi d^3}$$

$$k_w \text{ (ضریب وال)} = \frac{4C-1}{4C-4} + \frac{0.615}{C}$$

$$\xrightarrow{C=15} \quad k_w = 1.09$$

$$F_{max} = k(l_F - l_2) = 0.027(14 - 3.55) \longrightarrow \tau_{max} = 466 \text{ MPa}$$

پیش بار

$$\tau_{min} = k_w \frac{8 F_{min} D}{\pi d^3} = 333 \text{ MPa}$$

$$\begin{cases} \tau_m = 399.5 \text{ MPa} \\ \tau_a = 66.5 \text{ MPa} \end{cases}$$

رابطه گودمن

$$\frac{\tau_a}{S_{se}} + \frac{\tau_m}{S_{su}} = \frac{1}{n_f}$$

$$S_{ut} = \frac{A}{d^m} = \frac{2211}{(0.25)^{0.145}} = 3775 \text{ MPa}$$

داریم

با جایگذاری

$$S_{se} = \frac{S_{su} S_{sa}}{S_{su} - S_{sm}} = \frac{(0.67 S_{ut})(398)}{(0.67 S_{ut}) - (534)} = 504.5 \text{ MPa}$$

Subject .

$S_{su} = ۰٫۶۷ \times ۳۷۷۵ = ۲۵۲۹ MPa$

$$\frac{۶۶٫۵}{۵۰۴٫۵} + \frac{۳۹۹٫۵}{۲۵۲۹} = \frac{۱}{n_f}$$

$\longrightarrow n_f = ۳٫۴۵ > ۱٫۲$ ✓

اوکیه

ضریب اطمینان:

$$\tau_{max} = k_w \frac{۸ F_{max} D}{\pi d^۳}$$

$F_{max} = k(l_f - l_s) = ۰٫۰۶۷ (۱۴ - ۳٫۲۵) = ۰٫۷۲ N$

$\longrightarrow \tau_{max} = ۴۵۵ MPa$

$S_{sy} = ۰٫۴۵ S_{ut} = ۱۶۹۹ MPa$

ضریب اطمینان در طول بسته شدن $\longleftarrow n_{sf} = \frac{S_{sy}}{\tau_{max}} = \frac{۱۶۹۹}{۴۵۵} > ۱$ ✓ اوکیه

$L_{cr} = ۲٫۶۳ \frac{D}{\alpha} \rightarrow ۳٫۲۵$ $\longleftarrow$ کمانش: فنر فولادی

α ← دو سر گیردار ← ۰٫۵

$\longrightarrow L_{cr} = ۱۹٫۷ > L_f = ۱۴mm$

ok ✓

pilavaran

Subject .   Year. ۴ / Month. / D

مرتضی ...

$$f = \frac{۱}{۲}\sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$k = ۰/۰۶۷\ N/mm = ۶۷\ N/m$$

$$m = \frac{\pi d^{۲}}{۴}(\pi D N_a)\rho = ۴/۸۳۵ \times ۱۰^{-۵}$$

$d = ۰/۲۵\,mm$, $D = ۳/۷۵$, $N_a = ۱۱$, $\rho = ۷۶۰۰\ kg/m^{۳}$

$$\longrightarrow f = \frac{۱}{۲}\sqrt{\frac{k}{m}} = ۵۸۱\ Hz$$